



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTOL: Determinación y análisis de los factores de influencia en la estabilidad dimensional de los conjuntos de aluminio capó y portón

AUTOR: Ester Sala Carral

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Josep Anton Picas Barrachina

DEPARTAMENTO: Ciencia de los materiales e Ingeniería Metalúrgica

FECHA: 29/01/2014

Por razones de confidencialidad se omiten
datos y procesos en este trabajo

Este proyecto contiene aspectos medioambientales: ☐ Si ☐

No

TRABAJO FINAL DE GRADO

RESUMEN (máximo 50 líneas)

Se profundiza en el estudio del comportamiento del aluminio y las aleaciones utilizadas para la producción de los elementos móviles capó y portón y los procesos de fabricación utilizados.

Todas las piezas metálicas que componen el portón y el capó están fabricadas de aleaciones de aluminio AA 6XXX (aluminio – silicio – magnesio) según el registro internacional de aleaciones. Estas aleaciones son tratables térmicamente y su endurecimiento ocurre por envejecimiento.

El siguiente trabajo quiere demostrar la influencia de la utilización de dicho material en la estabilidad dimensional del conjunto final. Teniendo en cuenta la cantidad de variables que pueden influir durante todo el proceso en la dimensionalidad final de los conjuntos y tras la información bibliográfica encontrada, se decide profundizar en el estudio de las variables de cambios de temperatura a la que se someten los formatos durante el proceso antes de que estos lleguen a la instalación (estando ya estampados), la influencia del horno de gelificado en la estabilidad dimensional y la aparición de springback tras este proceso y la influencia de las posibles variaciones de la composición química de las aleaciones.

Tras la simulación de cambio de temperatura de los formatos en caliente (simulación situación verano) y en frío (simulación situación invierno) se observan cambios dimensionales que comportarían la no aceptación del producto por el departamento de calidad ya que dichos conjuntos se encuentran fuera de tolerancia. Esto indica que es de vital importancia aclimatar los formatos a la temperatura del taller de producción antes de que estos entren a la línea de producción.

Se estudia la composición química de distintas muestras de formatos, no encontrando diferencias notables en la composición entre ellas.

Tras un estudio del proceso del horno de gelificado se observa que la temperatura no es uniforme en toda la superficie de los conjuntos, lo que influye en la aparición de cambios dimensionales.

Una de las medidas que se implantan a raíz del estudio de este trabajo es el cumplimiento de los protocolos de caducidad del material por los proveedores y por el departamento logística. Se determinan nuevos procesos para diferenciar distintos lotes de producción. Esto se realiza en primer lugar para evitar introducir en instalación formatos nuevos dejando antiguos en almacén y para poder estudiar posibles cambios dimensionales entre la estampación de cada lote antes de que los formatos entren en la instalación.

Palabras clave (máximo 10):

Aluminio	Aleación 6XXX	Geometría	Temperatura
Composición química	Estabilidad	Procesos de producción	Portón
Capó			

TRABAJO FINAL DE GRADO

ABSTRACT (maximum 50 lines)

This project studies the behavior of the aluminum and its alloys for the production of the mobile elements (trunk and hood) and its fabrication processes.

All the metallic pieces that compound the hood and the trunk are fabricated with aluminum alloy series 6XXX (aluminum – silicon – magnesium) according to the international registration of alloys. These alloys are heat-treatable and they harden with aging.

The following work wants to demonstrate the influence of this material with the dimensional stability of the product. Taking into account the quantity of variables that can influence the final dimensionality of the product during the process of production, and the bibliography found, it is decided to study the changes of temperature of the pieces during the production before these are introduced in the installation; the influence of the gelling oven process for the dimensional stability. At the same time this work studies the possible variations on the chemical composition of the alloys and the influences of this variable into the dimensional stability.

After the simulation of the temperature changes after applying heat to the pieces (summer simulation) and cold (winter simulation) one can observe dimensional changes, some of this changes are so remarkable that are non-acceptable by the quality departments standards since some of the measurements appear to be out of tolerance. It is very important to acclimate of the pieces made out of aluminum alloys to the plant temperature before they enter the production line.

The chemical composition of different samples is found to not have significant differences between them.

After studying the gelling oven process it is conclude that the surface temperature is not uniform which influences the appearance of dimensional changes.

An action introduced as a result of this work is the implementation of new logistic processes to ensure the performance of the material expiration protocol. A new method of stocking is introduced to ensure that different batches are not mix in the installation. This new process gives the opportunity to study new batches before they enter the production line.

Key words (maximum 10):

aluminum	AA 6XXX	Dimensionality	Temperature
Chemical Composition	Stability	Production processes	Trunk
Hood			

Índice

Índice	1
1. Introducción	3
1.1 Objetivos	3
1.2 Justificación	4
1.3 Planificación	5
2. El aluminio. Aleaciones y propiedades	7
2.1 Obtención del aluminio	7
2.1.1 Aluminio Primario.....	7
2.1.2 Aluminio secundario	9
2.2 Propiedades del aluminio	10
2.2.1 Propiedades mecánicas	10
2.2.2 Propiedades físicas	12
2.2.3 Propiedades químicas.....	13
2.3 Aleaciones de aluminio	14
2.4 Tratamientos térmicos de las aleaciones de aluminio	17
2.4.1 Clasificación por su estado de tratamiento	17
2.5 Aleación utilizada en capó y portón. Características.....	19
2.5.1 Características del aluminio para armazón, pieza de apoyo, refuerzo bisagra, refuerzo cerradura capó y portón	22
2.5.2 Características del aluminio para revestimiento capó y portón	23
3. Procesos de fabricación	25
3.1 Proceso general de fabricación de un vehículo	25
3.1.1 Prensas	26
3.1.2 Chapistería	28
3.1.3 Pinturas.....	28
3.1.4 Montaje	29
3.1.5 Calidad	30
3.2 Proceso fabricación chapistería	31
3.2.1 Técnicas de unión	31
3.2.2 Conjunto carrocería	35
3.3 Producción Capó.....	36
3.3.1 Componentes del capó	36
3.3.2 Proceso de producción del capó	36
3.4 Producción Portón	37
3.4.1 Componentes del portón	37
3.4.2 Proceso de producción del portón	37
3.5 Funcionamiento del horno de gelificado.	39
3.6 Técnicas de Medición y otros controles	41
4. Situación de partida para el estudio	48
4.1 Análisis de los factores de Influencia	48
4.2 Funcionamiento actual: controles, protocolos, repercusiones	50

4.2.1 Puntos de control en calibre.....	50
4.2.2 Estándar ajuste línea.....	51
4.3 Definición puntos de control.....	52
5. Métodos experimentales.....	54
5.1 Pruebas composición química y características mecánicas	54
Prueba 1. Ensayo características mecánicas y composición química.....	54
Prueba 2. Ensayo de composición química de dos armazones de capó	55
Prueba 3 Ensayo características mecánicas de armazón y revestimiento portón y capó	56
5.2 Estudio de la influencia del horno de gelificado	59
Prueba 4: Comparativa antes y después de horno de un mueble entero de capos	59
Prueba 5: Indicadores de temperatura en 9 capos de un del mueble de transporte	59
Prueba 6: Indicadores de temperatura situados 6 puntos distintos del capó	60
Prueba 7: Sensores de temperatura para horno de gelificado	62
5.3 Análisis de la influencia de los cambios de temperatura en formatos	66
Prueba 8: Distintas combinaciones en caliente de armazón y revestimiento capó	66
Prueba 9: Armazón y revestimiento directamente de horno a producción.	67
Prueba 10: Armazón y revestimiento directamente en frío a producción.	67
5.4 Estudio de la influencia del horno de gelificado en el portón.....	67
Prueba 11: Portón antes y después de horno	67
Prueba 12: Simulación horno sin mueble de transporte	70
6. Conclusiones	71
6.1 Resultados	71
6.2 Medidas correctoras.....	75
6.3 Valoración final	77
Agradecimientos	78
Bibliografía.....	79
Índice de Figuras	81
Índice tablas.....	83
Glosario.....	84

1. Introducción

1.1 Objetivos

El acero ha sido hasta ahora el material por excelencia utilizado para la fabricación de carrocerías. La sustitución del acero por aluminio afecta en diversos aspectos tanto al proceso productivo como al producto final.

En este trabajo se pretende profundizar en el comportamiento del aluminio y el proceso de producción de los elementos de carrocería capó y portón para analizar los posibles factores que puedan influir en su geometría y así poder definir y establecer medidas que permitan reducir la inestabilidad dimensional de los elementos móviles hechos con este material.

Se estudia el comportamiento de las aleaciones de aluminio - magnesio – silicio (serie 6XXX), utilizadas en los elementos capó y portón fabricados íntegramente con este material.

1.2 Justificació

Se observan dificultades en la estabilidad dimensional de los elementos móviles capó y portón del modelo de estudio, lo que determina la realización de un estudio sobre el problema.

Nuevos materiales se están utilizando en el sector de la automoción a consecuencia de los avances tecnológicos que se están produciendo. De mismo modo y a consecuencia de que las nuevas normativas sobre emisiones contaminantes son cada vez más estrictas, este sector busca constantemente materiales más ligeros, menos contaminantes y más económicos. Por esta razón, se introduce este material en la producción de los elementos de carrocería fabricados íntegramente de aluminio. La reducción de peso disminuye el consumo de carburantes y así disminuyen las emisiones de CO₂.

Una desventaja del aluminio es que su estabilidad dimensional, comparada con el acero es menor, estas variabilidades tiene un efecto en la producción y en la calidad del producto final. Por este motivo, se realiza un estudio de este material y de los posibles factores que influyen en la estabilidad dimensional durante la producción de los elementos móviles capó y portón.

1.3 Planificación

Se realiza una planificación inicial del desarrollo del trabajo. En la Figura 1.1 se observa dicha planificación mediante un diagrama de Gantt.

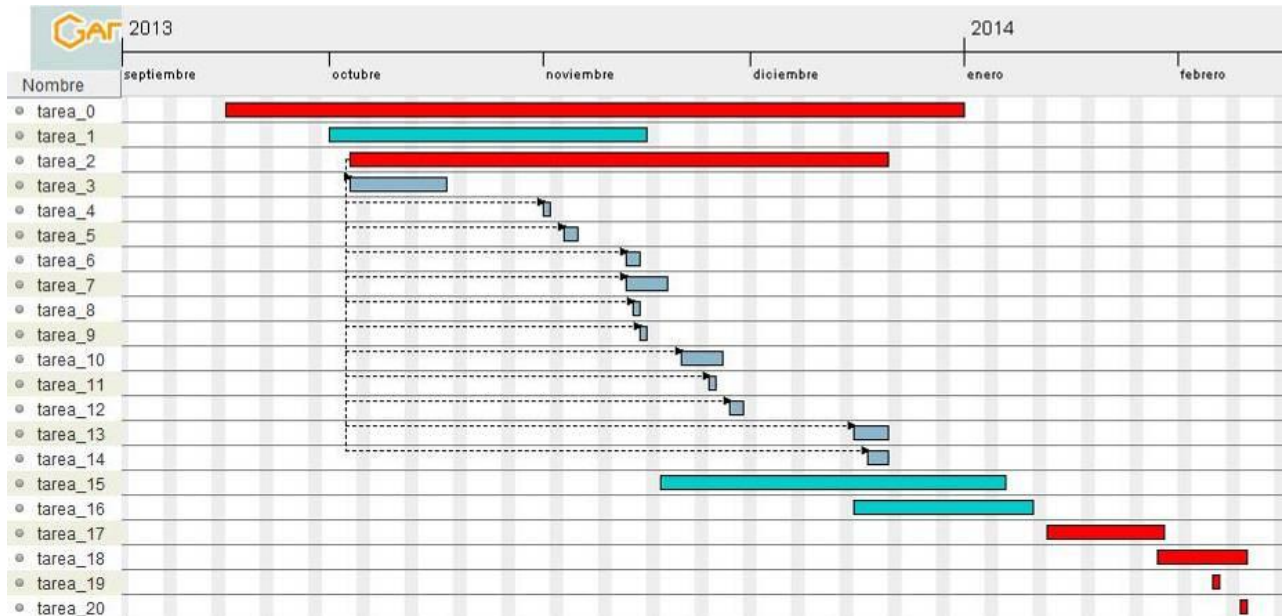


Figura 1.1 Diagrama de Gantt. Planificación del proyecto

A continuación se observa la descripción de cada tarea mencionadas en el diagrama de Gantt anterior.

Tabla 1.1 Planificación del proyecto

Tarea	Inicio	Fin	Definición
Tarea 0	16/09/2013	31/12/2013	Búsqueda bibliográfica
Tarea 1	01/10/2013	15/11/2013	Redacción puntos 1, 2, y 3
Tarea 2	04/10/2013	20/12/2013	Realización pruebas de campo
Tarea 3	04/10/2013	17/10/2013	Ensayo características mecánicas y composición química
Tarea 4	01/11/2013	01/11/2013	Prueba indicadores de temperatura en capó en 9 posiciones del mueble de transporte
Tarea 5	04/11/2013	05/11/2013	Prueba indicadores de temperatura en 6 puntos distintos de capó
Tarea 6	13/11/2013	14/11/2013	Distintas combinaciones en caliente de armazón y revestimiento capó
Tarea 7	13/11/2013	18/11/2013	Comparativa portón antes y después de horno
Tarea 8	14/11/2013	14/11/2013	Comparativa antes y después de horno de un mueble de capos
Tarea 9	15/11/2013	15/11/2013	Armazón y revestimiento capó directamente de horno a producción
Tarea 10	21/11/2013	26/11/2013	Simulación horno de gelificado en portón sin mueble de transporte
Tarea 11	25/11/2013	25/11/2013	Ensayo de composición química de dos armazones capó
Tarea 12	28/11/2013	29/11/2013	Armazón y revestimiento capó directamente en frío a producción
Tarea 13	16/12/2013	20/12/2013	Ensayo características mecánicas y composición química de armazón y revestimiento portón y capó
Tarea 14	18/12/2013	20/12/2013	Sensores de temperatura para horno de gelificado
Tarea 15	18/12/2013	06/01/2014	Redacción puntos 4 y 5
Tarea 16	16/12/2013	10/01/2014	Redacción punto 6 y artículo
Tarea 17	13/01/2014	29/01/2014	Revisión y entrega del trabajo final de grado
Tarea 18	29/01/2014	10/02/2014	Redacción puntos 1, 2 y 3
Tarea 19	06/02/2014	06/02/2014	Realización pruebas de campo
Tarea 20	10/02/2014	10/02/2014	Redacción puntos 4, 5 y 6

2. El aluminio. Aleaciones y propiedades

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, los compuestos de aluminio forman un 8% del total de esta. Dentro de los metales no férreos, es el material ampliamente más utilizado.

La fuente principal en la industria del aluminio es la Bauxita.

En la siguiente figura se pueden observar los principales productores de aluminio en el 2012.

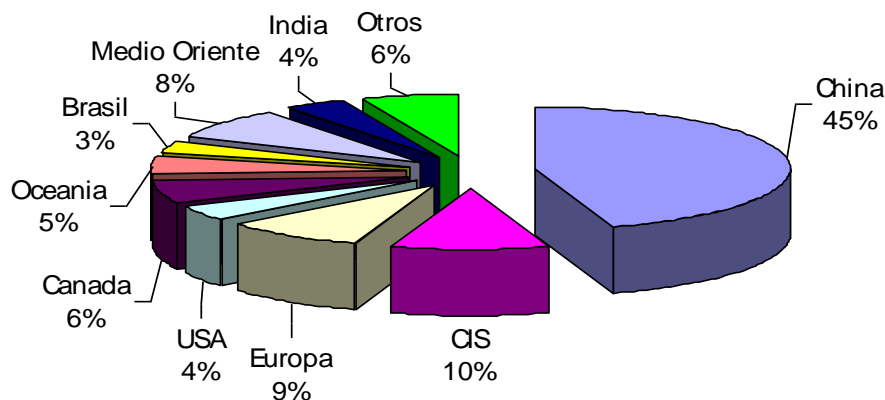


Figura 2.1 Principales productores de aluminio del 2012 [2]

2.1 Obtención del aluminio

Existen distintos tipos de obtención del aluminio, dependiendo de si este es primario o secundario. El aluminio secundario es el que se obtiene del reciclado de otras piezas de aluminio.

2.1.1 Aluminio Primario

El aluminio no se encuentra en estado puro en la naturaleza, la materia prima para la producción de aluminio es la Bauxita.

A pesar de no tener gran relevancia durante este estudio, el proceso de obtención del aluminio puro es destacable, pues es el metal resultante que se utiliza como base para las aleaciones de aluminio y por tanto influye en todas sus propiedades.

La bauxita (óxido de aluminio hidratado, con impurezas de óxido de hierro, compuestos de fósforo y titanio), se extrae mediante métodos de minería.



Figura 2.2 Bauxita [1]

La Bauxita debe ser convertida en óxido de aluminio (Al_2O_3), también denominado alúmina, mediante el proceso Bayer. El mineral lavado debe ser triturado para dar un polvo fino y así poder eliminar alguna de sus impurezas.

El óxido de aluminio es separado del resto de componentes mediante una solución de sosa cáustica (NaOH) a alta temperatura y presión. Los minerales de aluminio se disuelven mientras que los otros componentes de la bauxita, principalmente sílice y óxidos de hierro y titanio permanecen sólidos; éstos se depositan en el fondo del tanque y luego son removidos. Posteriormente, esta mezcla, es filtrada para separar las partículas insolubles, y sometida a un proceso de secado mediante un horno rotativo o calcinador que elimina el agua. Al final se obtiene la alúmina en forma de polvo blanco.

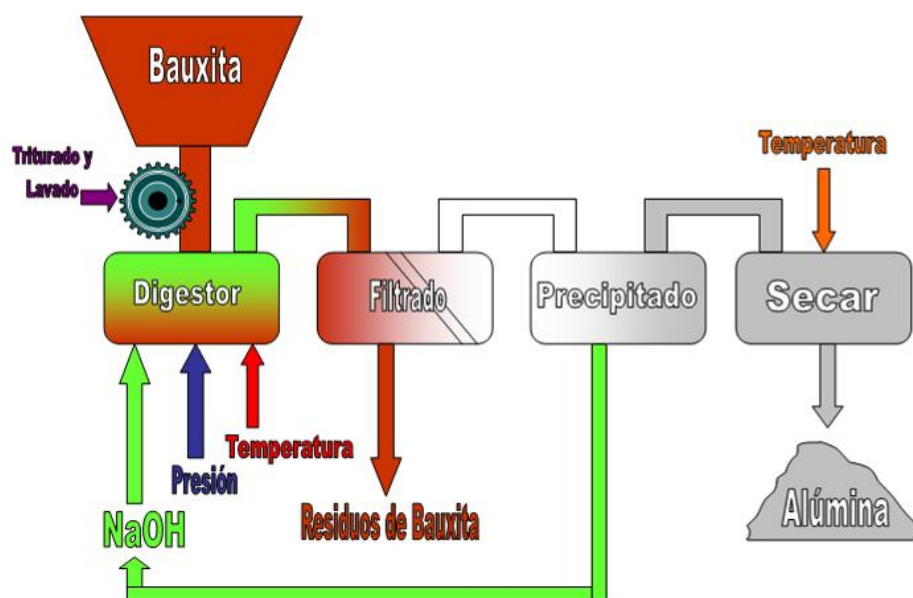


Figura 2.3 Esquema de la producción de alúmina mediante proceso Bayer [5]

Para la obtención del aluminio se realiza un baño electrolítico de alúmina en fluoruro doble de aluminio y sodio (Criolita) a una temperatura media de $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ en celdas electrolíticas en un recipiente de hierro revestido de grafito o carbón, usando ánodos y

cátodos de grafito. Se realiza de esta manera, ya que la alúmina obtenida por el proceso Bayer tiene un punto de fusión muy elevado (mayor a los 2000 °C).

Tras este proceso se obtiene aluminio líquido con una pureza de entre 99,5 y 99,9%.

El consumo energético utilizado para la obtención de aluminio es muy elevado, lo cual lo convierte en un metal relativamente caro a pesar de ser el elemento metálico más abundante de la tierra. Para la obtención de una tonelada de aluminio son necesarias 4 Tn bauxita, 80 kg. de criolita, 600 kg de electrodos de grafito y 22000 kW-hora.

2.1.2 Aluminio secundario

El aluminio es 100% reciclable, manteniendo las mismas propiedades que el primario, es decir, no hay diferencia entre el metal primario y el metal reciclado en términos de calidad y propiedades. Al final de la vida útil de las piezas que contienen aluminio, este puede ser utilizado una y otra vez sin que pierda calidad, ahorrando energía y materiales en bruto. Para su reciclaje se utiliza tan solo un 5% de la energía requerida para la producción de aluminio primario.

Reciclando un kilogramo de aluminio, se pueden ahorrar 8 kg de bauxita, 4 kg de productos químicos y 14 kWh de electricidad. [10]

Para proceder al reciclaje del aluminio la chatarra debe ser clasificada, compactada y posteriormente debe realizarse fundición en instalaciones específicas.

Las partículas o adherencias de otros metales como hierro, níquel o cobre, se pueden separar por fusión del aluminio sobre el que quedan sin fundir debido a que si temperatura de fusión es mucho más elevada que la del aluminio. Las impurezas no metálicas se eliminan posteriormente mediante tratamiento con sales adecuadas o por lavado con gas inerte, cloro y/o nitrógeno.

2.2 Propiedades del aluminio

Por lo general el aluminio obtenido por el proceso anteriormente descrito tiene una pureza entre 99,5 y 99,7%, donde las principales impurezas son el hierro y el silicio.

Se considera aluminio puro a aquellas aleaciones que poseen un 99.9 % en masa de aluminio.

A continuación se describen las propiedades físicas, mecánicas y químicas más destacables para este proyecto del aluminio puro.

2.2.1 Propiedades mecánicas

Las características mecánicas del aluminio varían notablemente dependiendo de qué aleaciones se utilicen.

Las propiedades mecánicas más destacables son su gran ductilidad, maleabilidad y baja resistencia mecánica.

La dureza para este metal se da mayormente como dureza Brinell debido a la sencillez de su determinación, otros sistemas como Vickers o Knoop no tienen sentido en este metal. Los valores de dureza Brinell se extienden desde $HB = 15$ para el aluminio puro blanco hasta $HB = 70$ para algunas aleaciones de aluminio endurecidas térmicamente. [9]

El módulo de elasticidad longitudinal o Módulo de Young (E), indica la deformación que experimenta el material cuando este es sometido a tensiones de compresión o tracción. El Módulo de Young del aluminio al 99.997% de aluminio es de 64,2 GPa. El alargamiento elástico del aluminio y sus aleaciones bajo un esfuerzo dado es aproximadamente tres veces más grande que el alargamiento elástico del acero. Esta propiedad es especialmente buena para elementos estructurales que necesiten resistencia al impacto. Para aleaciones de aluminio, el módulo de Young tiene un valor de 70 GPa.

El módulo de elasticidad transversal (G) o también llamado módulo de cortante o de cizalla para el aluminio es de 26,3 GPa. Este módulo indica el cambio de forma que experimenta el material cuando es sometido a un esfuerzo de cortantes.

En las dos siguientes figuras se pueden observar los valores de los límites de resistencia a la tracción de algunas aleaciones de aluminio para forja y para fundición. En general, la resistencia aumenta con el aumento de elementos en la aleación.

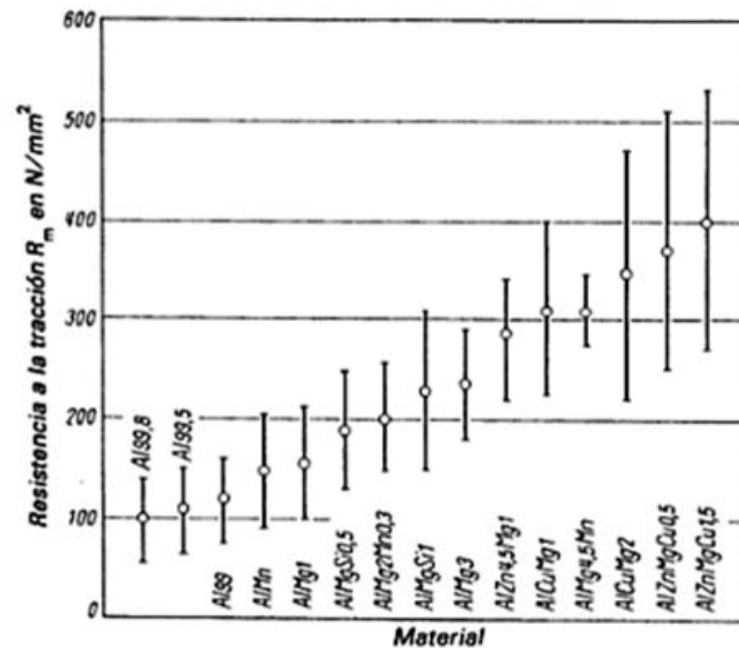


Figura 2.4 Resumen de los límites de resistencia a la tracción de algunas aleaciones de aluminio para forja [10, pág. 59]

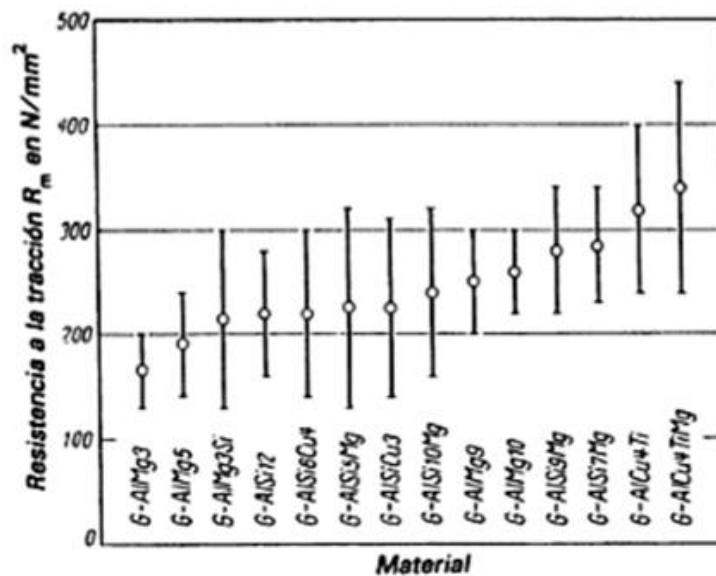


Figura 2.5 Resumen de los límites de resistencia a la tracción de algunas aleaciones de aluminio para fundición [10, pág. 60]

El coeficiente de Poisson (ν) para el aluminio es de 0,33. Esta constante proporciona la relación entre la elongación longitudinal y la deformación transversal en el ensayo de tracción.

El módulo de rigidez del aluminio es de 17 GPa.

La compresibilidad del aluminio aumenta con el incremento de la temperatura.

Al aumentar la temperatura, disminuyen la resistencia a la tracción, el límite elástico y la dureza y generalmente aumenta el alargamiento de rotura, aunque el comportamiento variará según la composición y el estado del material.

Al disminuir la temperatura, generalmente aumenta la resistencia a la tracción y el límite elástico.

La excelente capacidad de conformación del aluminio hace posible la fabricación mediante extrusión de secciones transversales completamente arbitrarias. En otros procesos como son la conformación en frío y en caliente se puede fabricar toda clase de semielaborados y piezas terminadas utilizando distintas aleaciones de aluminio.

Los materiales a base de aluminio son fácilmente mecanizables y tienen cualidades para la unión por distintos procedimientos. Las superficies permiten aplicar la mayoría de los procesos generales de tratamientos tanto para conseguir efectos decorativos como de alta resistencia o dureza superficial, etc.

Todas las aleaciones de aluminio están libres de ferromagnetismo.

2.2.2 Propiedades físicas

Las propiedades físicas más destacables del aluminio puro son su elevada conductividad eléctrica y térmica, así como su ligereza.

El aluminio es un metal de color blanco plateado con alta reflectividad para la luz y el calor. Normalmente las aleaciones de aluminio tienen una coloración similar.

Su densidad es aproximadamente un tercio que la del acero, esto permite la producción de elementos más ligeros, lo que comporta una notable disminución en la masa total del automóvil y por tanto una disminución del consumo energético. El único metal industrial más ligero que el aluminio es el magnesio.

La conductividad eléctrica se expresa como un porcentaje de IACS (International Annealed Copper Standard).

El aluminio y sus aleaciones son ligeramente paramagnéticos.

En la Tabla 2.1 , se detallan las propiedades físicas más relevantes del aluminio puro.

Tabla 2.1 Propiedades físicas más relevantes del aluminio puro

Propiedad	Valor
Color	Blanco plateado
Estructura cristalográfica	Cubo centrado en las caras
Densidad a 20 °C	2,699 g/cm ³
Cambio de volumen en la solidificación	6,70%
Contracción por vaciado (lineal)	1,7-1,8 %
Calor de combustión	200 Kcal por g-átomo
Temperatura de fusión	660,2 °C
Temperatura de ebullición	2057/2480 °C
Calor específico (a 20 °C)	930 J/(kgK) 0,222 cal/g/°C
Coefficiente lineal de dilatación térmica ($\cdot 10^6$)	23.0 J/g (20 °C - 100 °C)
Conductividad eléctrica a 20 °C	65 % IACS=100
Resistividad eléctrica a 20 °C	2,69 $\mu\Omega\text{cm}$
Susceptibilidad magnética a 18 °C ($\cdot 10^6$)	0,63
Conductividad calorífica a 0 °C	0,53 cal/cm X S. °C

2.2.3 Propiedades químicas

El aluminio es un elemento muy reactivo que se oxida con facilidad. Es muy resistente a la corrosión, tanto en forma de aluminio puro como en aleaciones con hierro, manganeso y magnesio. Esta resistencia a la corrosión es debida a la formación de una película de óxido de algunas centésimas de micra, que protege al resto de la masa de su oxidación.

La corrosión ocurre cuando la superficie metálica es atacada por algún producto que disuelve este óxido.

El número atómico del aluminio es 13 (13 protones, 14 neutrones y 13 electrones) y su masa atómica es de 26,981 u. Su símbolo es Al.

2.3 Aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio pueden subdividirse en aleaciones de forja o de fundición.

Las **aleaciones para forja** (chapas, láminas, extrusión, varillas y alambres) se clasifican según los elementos que contenga la aleación. Para identificar las aleaciones se utiliza una designación numérica de 4 dígitos, de acuerdo con la norma H35.1 de la American National Standard Institute (ANSI). El primer dígito indica el elemento con el que se realiza la aleación, el segundo dígito indica los cambios de pureza del aluminio, el tercer y cuarto dígito indican en el caso de aleaciones del grupo A1XXX el porcentaje mínimo de Al y en el resto de aleaciones indican el porcentaje de los aleantes. La Tabla 2.2 clasifica las aleaciones de aluminio según su aleante y su designación numérica.

Tabla 2.2 Clasificación Aleaciones de Aluminio

Aleaciones para forja	Serie	Aleaciones para fundición	Serie
Aluminio con mínimo de pureza del 99,00%	1XXX	Aluminio con mínimo de pureza del 99,00%	1XX.X
Cobre	2XXX	Cobre	2XX.X
Manganeso	3XXX	Silicio más cobre y magnesio	3XX.X
Silicio	4XXX	Silicio	4XX.X
Magnesio	5XXX	Magnesio	5XX.X
Magnesio y Silicio	6XXX	Series no utilizadas	6XX.X
Zinc	7XXX	Zinc	7XX.X
Otros elementos	8XXX	Estaño	8XX.X
Series no utilizadas	9XXX	Otros elementos	9XX.X

Las **aleaciones de aluminio para fundición** se codifican de acuerdo con la norma ASTM B275 y se clasifican según los aleantes utilizados. Se utilizan por sus buenas propiedades de colabilidad, fluidez y capacidad de alimentación de los moldes, así como por la mejora de las propiedades de resistencia y tenacidad o resistencia a la corrosión.

Características clasificación de aleaciones de aluminio para forja [8]

1XXX: Aluminio con pureza mínima del 99,00%. Las principales impurezas son el hierro y el silicio, con posible presencia de otros elementos en cantidades menores al 0.1%. Las aleaciones de esta serie tienen una resistencia a la tensión baja y buenos valores de alargamiento en recocido.

2XXX: Aleación binaria de aluminio-cobre. Su principal elemento de aleación es el cobre aunque a veces se introduce magnesio. Esta serie tiene mala resistencia a la corrosión y buena relación dureza/peso aunque sometíendolas a tratamientos térmico y/o introduciendo otros elementos o aleaciones, estas propiedades mejoran notablemente. El cobre facilita el mecanizado pero aumenta la fragilidad en caliente. Las aleaciones de esta serie, por lo general, se utilizan como aleaciones principales para la formación de aleaciones más complejas, también se utilizan en la suspensión de camiones, fuselaje de los aviones y en estructuras que necesiten buena dureza a temperaturas superiores a 150 °C. Estas aleaciones tienen mala soldabilidad y buena maquinabilidad a excepción de la aleación 2219.

3XXX: Aleación binaria de aluminio-manganeso. Las aleaciones de esta serie son de resistencia media y generalmente se fabrican como hojas o placas para aplicaciones arquitectónicas, utensilios domésticos, señales de tráfico, etc.

4XXX: Aleación binaria de aluminio-silicio. El principal elemento aleante (Si) se añade en cantidades elevadas (por encima del 12%) para bajar el rango de fusión, lo que permite usar esta aleación como elemento de soldadura. El silicio, también reduce el coeficiente de dilatación, mejora la soldabilidad pero disminuye la maquinabilidad. Otros elementos que están presentes en estas aleaciones son el hierro y el sodio. Estas aleaciones son importantes para la fundición debido a su fluidez. Principalmente no son tratables térmicamente.

5XXX: Aleación binaria de aluminio-magnesio. El magnesio es un elemento que endurece el aluminio. El Mg endurece más la aleación que el manganeso, con cantidades más pequeñas (un 0,8 de Mg tiene el mismo efecto endurecedor que un 1,25 de Mn). Las aleaciones de esta serie tienen de una media a alta dureza por endurecimiento por deformación y baja capacidad de trabajo en frío. El magnesio aumenta la resistencia a corrosión en medios salinos y dificulta la fundición debido a oxidación y absorción de impurezas. Sus principales usos son adornos decorativos, iluminación de calles y estructuras de automóviles.

6XXX: Aleación aluminio-magnesio-silicio. Esta aleación es tratable térmicamente. Son menos resistentes pero tienen formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Las aleaciones de esta serie pueden modelarse por tratamiento térmico T4 (Solución tratada térmicamente y envejecida de forma natural hasta alcanzar una condición de estabilidad) y endurecerse por tratamientos térmicos T6

(solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente). Sus principales usos son aplicaciones arquitectónicas, fines estructurales, etc.

7XXX: Aleación binaria de aluminio-zinc. El elemento aleante (Zn) es añadido en proporciones de 1 a 8%. En ocasiones se añaden otros elementos como el magnesio que hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Las aleaciones de esta serie tienen una alta dureza y baja resistencia a la corrosión bajo tensión. Para mejorar la resistencia a la corrosión son tratadas térmicamente. Sus principales usos son estructuras de aviones, equipos móviles y otras partes forzadas.

8XXX: Aleaciones de otros elementos. Se trata de una serie de aleaciones diversas

9XXX: Serie no utilizada.

2.4 Tratamientos térmicos de las aleaciones de aluminio

El grado de endurecimiento o tratamiento térmico viene indicado por letras colocadas después del número de designación.

2.4.1 Clasificación por su estado de tratamiento

F: Según fabricación. Es el material tal y como se fabricó. Se aplica a los productos trabajados en frío, caliente o procesos de fundición donde no se emplea ningún control sobre las condiciones térmicas o endurecimiento por deformación. Para los productos forjados no hay límites en las propiedades mecánicas.

O: Recocido. Aplicable tanto a materiales de forja como de fundición, sometidos a un recocido completo. En los productos forjados se utiliza para obtener un temperamento de menor resistencia y para los productos de moldeo que son recocidos para mejorar la ductibilidad y estabilidad dimensional. Esta letra puede ir seguida de un número distinto de 0.

O1: Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.

O2: Tratamiento termomecánico.

O3: Tratamiento de difusión a alta temperatura aplicable a alambrones y bandas de colada continua.

W: Materiales que después de ser sometidos a un tratamiento térmico su estructura es inestable y sufren envejecimiento natural a temperatura ambiente durante un periodo de meses o incluso años después del tratamiento térmico.

H: materiales a los que se realiza endurecimiento por deformación (productos forjados únicamente). Esto indica que los productos se han endurecido mediante endurecimiento por deformación, con o sin tratamiento térmico complementario para producir una cierta reducción en la fuerza.

H1: Endurecimiento por acritud solamente, sin tratamiento posterior.

H2: Endurecimiento por acritud y recocido parcial.

H3: Endurecimiento por acritud y estabilización (se estabilizan las propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos a baja temperatura).

T: Materiales endurecidos por tratamiento térmico. Esto se aplica a las aleaciones que se estabilizan tras pocas semanas después el tratamiento térmico.

T1: Enfriado desde un proceso de conformación a una elevada temperatura y envejecido de forma natural hasta una condición prácticamente estable.

T2: Enfriado desde un proceso de formación a temperatura alta, trabajado en frío y envejecido de forma natural hasta una condición prácticamente estable.

T3: Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida de forma natural hasta una condición prácticamente estable.

T4: Solución tratada térmicamente y envejecida de forma natural hasta alcanzar una condición de estabilidad.

T5: Enfriado desde un proceso de conformación a una elevada temperatura y envejecido de forma artificial.

T6: solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente.

T7: Solución tratada térmicamente y estabilizada

T8: Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y posteriormente envejecida de forma artificial.

T9: Solución tratada térmicamente, envejecida de forma artificial y posteriormente trabajada en frío.

T10: Enfriamiento desde un proceso de conformación a temperatura alta, trabajada en frío y maduración artificial.

Existen más variantes del estado de tratamiento T.

No todas las aleaciones para forja y fundición pueden ser tratadas térmicamente.

2.5 Aleación utilizada en capó y portón. Características

Todas las piezas tanto del portón como del capó están fabricadas de aleaciones de aluminio del grupo AA 6XXX (Aluminio – Silicio - Magnesio) según el registro internacional de aleaciones. Estas aleaciones son tratables térmicamente y su endurecimiento ocurre por envejecimiento.

Las aleaciones por forja del grupo 6XXX contienen hasta un 1,5% de cada elemento (magnesio y silicio) para formar Mg_2Si . La solubilidad máxima de Mg_2Si es de 1,85% y disminuye con la temperatura.

Además de contener magnesio y silicio estas aleaciones pueden contener otros elementos para controlar la estructura de grano.

Cada elemento aleante proporciona unas propiedades a la aleación.

Las características de los aleantes principales utilizados en el grupo de aleaciones de la serie AA 6XXX son las siguientes:

- El magnesio (Mg): proporciona ductibilidad y endurecimiento a las aleaciones de aluminio – silicio, tratadas térmicamente. También es posible encontrar este elemento en aleaciones más complejas que pueden contener además níquel, cobre y otros elementos con el mismo propósito. La fase responsable de la mejora de la dureza es el Mg_2Si y exhibe una alta solubilidad hasta un máximo de 0,7 % Mg (límite de solubilidad), los niveles superiores inhiben el incremento de dureza y resistencia. Las aleaciones de alta calidad contienen entre un 0,4 y 0,7 % de magnesio. Las aleaciones binarias de Al-Mg son ampliamente usadas en aplicaciones que requieren un acabado superficial brillante y resistencia a la corrosión, así como una atractiva combinación de resistencia y ductilidad y tienen son fáciles de maquinar.

- El silicio (Si): mejora las propiedades de colada, mejora la fluidez, la resistencia al agrietamiento en caliente y las propiedades de moldeo. La adición de este elemento disminuye la densidad y el coeficiente de expansión térmica. Las aleaciones Al-Si son las de mayor aplicación tanto hipoeutéctico como hipereutéctico (hasta 25 % Si).

Un exceso de silicio comporta la formación de Mg_2Si , fase que contribuye al endurecimiento de la aleación, trayendo como consecuencia un aumento en la resistencia a la tensión. A medida que aumenta la proporción de silicio, aumenta la

velocidad de extrusión. El exceso de silicio debe ser moderado (20%) para no perjudicar la plasticidad. [5]

Las proporciones de silicio y magnesio deben ser tales que se pueda obtener silicato de magnesio, lo que hace que sea tratable térmicamente.

Otros aleantes y las propiedades que aportan a la aleación que se utilizan en esta serie en cantidades inferiores se especifican a continuación:

- El cobre (Cu): aumenta de manera notable la resistencia a tracción y la dureza, tanto en condiciones de extrusión como en tratado térmico. Aumenta la corrosión en concentraciones que van de 0,3 al 1%, pero disminuye con cantidades mayores. Las aleaciones que contienen de 4 a 6% de cobre, responden mejor a los tratamientos térmicos. En las aleaciones de aluminio, este elemento reduce la resistencia a la corrosión y la resistencia al agrietamiento en caliente. Por otro lado, el cobre disminuye la colabilidad en piezas de fundición.

A temperatura ambiente la solubilidad del cobre en el aluminio es de 0,1%, mientras que a temperatura eutéctica (527 °C) la solubilidad es de 5,7%, esta variación de la solubilidad con la temperatura permite que sea susceptible al tratamiento térmico.

- El hierro (Fe): aparece en las aleaciones como compuesto intermetálico insoluble, debido a que en estado líquido es altamente soluble pero a temperatura ambiente no lo es. El aumento de hierro incrementa la resistencia mecánica pero disminuye la ductibilidad. El hierro aumenta la resistencia a la tracción y la dureza en pequeñas cantidades, así como también la fluencia y el alargamiento. En las aleaciones de la serie 6000 es el exceso de silicio quien más perjudica a la conductividad y el hierro es usado como corrector de esta propiedad. La resistencia a la corrosión se ve disminuida por la presencia de hierro.

Como el hierro es prácticamente insoluble en el aluminio forma cristales duros y frágiles que ocasiona la fragilización del material.

- El manganeso (Mn): incrementa la resistencia mecánica. Este elemento no influye en la resistencia a la corrosión. Es utilizado durante la fundición para corregir la forma acicular de los precipitados aciculares en hierro y disminuir su efecto fragilizante, aunque esto influye en la obtención de una forma fibrosa en los lingotes. El manganeso incrementa la sensibilidad al agrietamiento en las aleaciones tratables térmicamente.

- El níquel (Ni): se utiliza para mejorar las propiedades a altas temperaturas y reduce el coeficiente de expansión térmica.
- El estaño (Sn): mejora la maquinabilidad y las propiedades antifricción.
- El titanio (Ti): refina la estructura de grano del aluminio (normalmente se adiciona como boruro de titanio TiB_2), preferiblemente en concentraciones mayores a la estequiométrica para que se produzca dicho refinamiento. La tendencia al agrietamiento se ve reducida utilizando este elemento en las aleaciones de aluminio.
- En la utilización de zinc (Zn) no se observan beneficios en su adición al aluminio, pero, en aleaciones que contienen Mg y/o Cu el endurecimiento por tratamiento térmico o natural se ve mejorado.

Las propiedades de las aleaciones de aluminio dependen de su composición, microestructura y tamaño de grano. También dependen de su temperatura de trabajo y tratamientos térmicos como recocidos o procesos de envejecimiento.

Las aleaciones de la serie 6XXX son menos resistentes que el resto de las aleaciones de aluminio. Tienen buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y buena resistencia a la corrosión.

La resistencia mecánica se mejora con tratamientos térmicos.

Las aleaciones de esta serie que han estado sometidas a un recocido tienen un límite elástico de entre 40-80 MPa y una resistencia a la tracción de entre 85-150 MPa, mientras que las que han estado sometidas a un tratamiento térmico T6 tiene un límite elástico de entre 210-360 MPa y una resistencia a la tracción de entre 240-385 MPa. [3]

Tras la información bibliográfica y el estudio de las aleaciones de la serie 6XXX, se toman los siguientes límites de composición química y características mecánicas, explicados en los apartados 2.5.1 y 2.5.2, como eficaces para las piezas que componen los conjuntos capó y portón a modo de guía para comparativas con las pruebas que se realizarán posteriormente. [3, 9 y 10]

2.5.1 Características del aluminio para armazón, pieza de apoyo, refuerzo bisagra, refuerzo cerradura capó y portón

Estas piezas deben seguir los siguientes requisitos.

Las chapas deben tener una buena conformabilidad y resistencia anticorrosiva.

La composición química en porcentaje de masa la podemos observar en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Composición química (% en masa)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
$\leq 1,50$	$\leq 0,50$	$\leq 0,30$	$\leq 0,80$	$\leq 1,00$	$\leq 0,15$	$\leq 0,30$	$\leq 0,25$	Resto
Agregados aditivos: individual $\leq 0,05$, total $\leq 0,15$								

Preferiblemente se debe utilizar aluminio secundario.

Los valores característicos mecánicos en estado de suministro se pueden observar en la tabla 2.4. El estado de tratamiento térmico es T4 según DIN EN 515.

Tabla 2.4 Valores mecánicos en estado de suministro

Espesor de la chapa	≤ 2 mm	≥ 2 mm	Prueba según
Resistencia a la tracción R_m	≤ 240 N/mm ²	≤ 250 N/mm ²	DIN EN 10.002-1
0,2% de límite elástico $R_{p0,2}$	≤ 140 N/mm ²	≤ 160 N/mm ²	
Alargamiento de rotura A_{80mm}	$\geq 23\%$	$\geq 22\%$	
Alargamiento uniforme A_G	$\geq 19\%$	$\geq 18\%$	
r10% (valor indicativo)	$\geq 0,6$	$\geq 0,6$	
n5% (valor indicativo)	$\geq 0,26$	$\geq 0,26$	
Relación de límites de estirado R_p/R_m	$\leq 0,6$	$\leq 0,6$	
Dureza HBW 2,5/62,5 (valor indicativo)	70	70	DIN EN ISO 6506-1

Los valores característicos mecánicos después del tratamiento térmico se pueden observar en la tabla 2.5. Los valores se deben cumplir independientemente del envejecimiento natural. El estado del tratamiento térmico es T6 según DIN EN 515.

Tabla 2.5 Valores mecánicos después del tratamiento térmico

Espesor de la chapa	< 2 mm	≥ 2 mm	Prueba según
Resistencia a la tracción R_m	≥ 260 N/mm ²	≥ 270 N/mm ²	DIN EN 10.002-1
0,2% de límite elástico $R_{p0,2}$	≥ 210 N/mm ²	≥ 210 N/mm ²	
Alargamiento de rotura A_{80mm}	≥ 10%	≥ 10%	
Dureza HBW 2,5/62,5 (valor indicativo)	70	70	DIN EN ISO 6506-1

2.5.2 Características del aluminio para revestimiento capó y portón

Los requerimientos están subdivididos en tres criterios como se puede observar en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Criterios de subdivisión

Índice X	Descripción
A	Estándar para aplicaciones de revestimiento.
B	Requisitos según índice A, con requisitos restrictivos de la capacidad de doblado.
C	Requisitos según índice A, con aumento de la plasticidad.

La chapa debe tener una buena plasticidad y resistencia anticorrosiva.

La composición química en porcentaje de masa la podemos observar en la siguiente tabla.

Tabla 2.7 Composición química (% en masa)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,50 ^a 1,50	≤ 0,50	≤ 0,25	≤ 0,20	0,25 ^a 0,80	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,15	Resto
Posibles impurezas: individual ≤ 0,05, total ≤ 0,15								

Preferiblemente se debe utilizar aluminio secundario.

Los valores característicos mecánicos en estado de suministro se pueden observar en la tabla 2.8. El estado de tratamiento térmico es T4 según DIN EN 515.

Tabla 2.8 Valores mecánicos en estado de suministro

Índice X		A	B	C	Prueba según
Espesor de la chapa		$\leq 2 \text{ mm}$			
$R_{p0,2}$		$\leq 130 \text{ N/mm}^2$			DIN EN ISO 6892-1
Alargamiento de rotura $A_{80\text{mm}}$		≥ 24		≥ 26	
Alargamiento uniforme A_G		≥ 20		≥ 22	
r10%	0°	$\geq 0,60$		$\geq 0,60$	DIN ISO 10113
	45°	$\geq 0,40$		$\geq 0,50$	
	90°	$\geq 0,60$		$\geq 0,60$	
n5%	0°	$\geq 0,26$		$\geq 0,28$	DIN ISO 10275
	45°				
	90°				
Relación de límites de estirado $R_{p0,2}/R_m$		$\leq 0,55$		$\leq 0,50$	
Dureza HBW 2,5/62,5 (valor indicativo)		60			DIN EN ISO 6506-1
Angulo de doblaje		$\geq 145^\circ$	$\geq 160^\circ$	$\geq 145^\circ$	

Los valores característicos mecánicos después del tratamiento térmico se pueden observar en la tabla 2.9. Los valores se deben cumplir independientemente del envejecimiento natural. El estado del tratamiento térmico es T6 según DIN EN 515.

Tabla 2.9 Valores mecánicos después del tratamiento térmico

Index X	A	B	C	Prueba según
Espesor de la chapa	≤ 2 mm			
Rp0,2	≥ 200 N/mm ²			DIN EN ISO 6892-1
Rm	≥ 240N/mm ²			
A80mm	≥ 12%			
Dureza HBW 2,5/62,5 (valor indicativo)	80			DIN EN ISO 6506-1

La rugosidad R_a debe estar dentro de $1,0 \pm 0,3 \mu\text{m}$.

En todas las piezas de aleación de aluminio del portón y capó debe utilizarse lubricante seco.

3. Procesos de fabricación

3.1 Proceso general de fabricación de un vehículo

Antes de llegar a la fase de producción en serie de un vehículo, existen distintos procesos que evocan en un modelo concreto de producción. Así pues, para la producción de cualquier producto debe existir un estudio de mercado que indique si el producto es necesario, que esperen los posibles clientes de dicho producto y que tendencias existen en el mercado en ese momento. Posteriormente se lleva a cabo el diseño del producto de forma que su estética tras un estudio de las necesidades del perfil del consumidor al que va dirigido, así como el diseño de todos sus componentes. Tras la homologación de los distintos componentes que forman el producto y el estudio del sistema de producción que debe llevarse a cabo para la obtención del producto, se inicia la fase de producción. Durante la primera serie de producción se estudian todos los procesos para observar y mejorar anomalías durante el proceso. Una vez todo funciona adecuadamente y el proceso es óptimo, se inicia la producción en serie del producto.

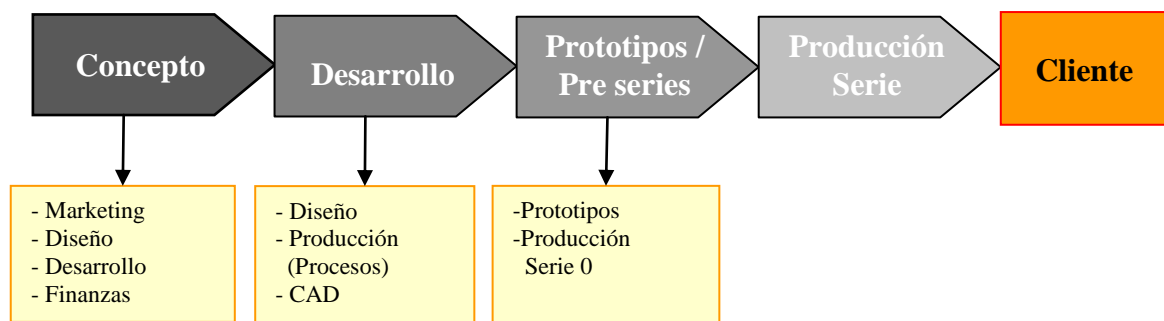


Figura 3.1 Desarrollo y proceso de un vehículo

Este apartado se centra únicamente en la fase de producción de un y las distintas sub-fases dentro de este proceso.

La producción en serie de un coche está dividida en 5 fases, cada una de ellas es responsable de una etapa distinta del proceso de producción del vehículo.

Para la producción de una carrocería es necesaria la preparación de los elementos que forman dicha carrocería. La fase de producción encargada de la preparación de dichas piezas mediante estampación es prensas.

Dependiendo de los recursos de cada marca, esta fase se encuentra implementada como proceso propio, en otras ocasiones son empresas proveedoras las encargadas de abastecer a la línea de producción

Existen varias líneas de producción de los distintos elementos de la carrocería que trabajan simultáneamente. Por un lado se produce la carrocería, mientras que en otras líneas se procede a la producción de los elementos móviles capó, portón y puertas. Los distintos métodos de unión utilizados para la unión de los componentes de la carrocería se explican en el apartado 3.2.1.

Una vez finalizado este proceso, la carrocería pasa por la fase de pinturas donde se realizan tratamientos de preparación de superficie y posteriormente pasan a ser pintadas.

Posteriormente la carrocería ya pintada se desplaza a la línea de montaje donde se instalan el resto de los componentes que forman parte de un vehículo (motor, spoiler, asientos, etc.).

Por último el vehículo debe superar las distintas pruebas de calidad para poder ser dado de alta como vehículo acabado. En caso de que un vehículo no pase alguna de las pruebas deberá ser reparado, siempre y cuando sea posible la reparación, y volver a someterse y superar a todas las pruebas de calidad antes de ser dado de alta como vehículo acabado y poder ser vendido.

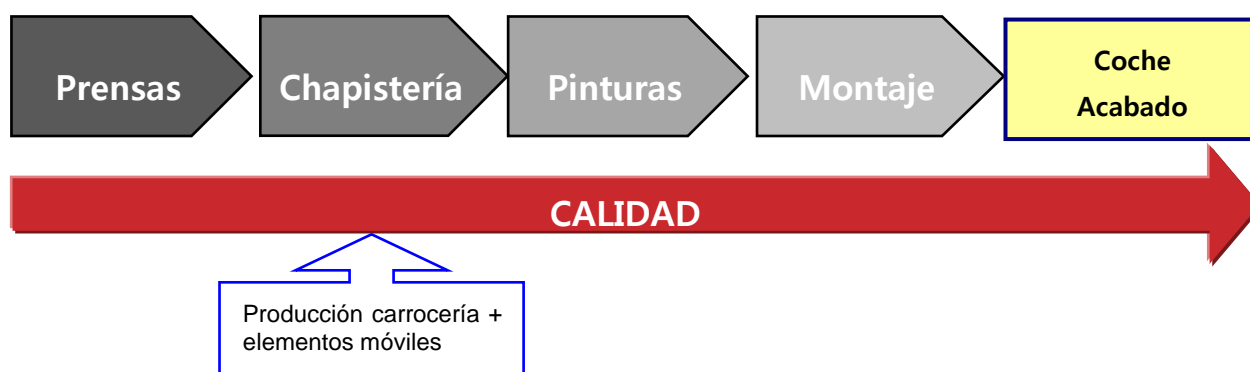


Figura 3.2 Proceso de producción en serie del vehículo

3.1.1 Prensas

Prensas es el departamento encargado de la estampación de las piezas que formarán la carrocería. Este departamento recibe la materia prima en forma de bobinas con el material laminado. Para la obtención del material laminado, en primer lugar se debe realizar la fundición de los metales que se van a utilizar, obteniéndose los lingotes o tochos de las aleaciones requeridas, los cuales posteriormente se laminan para obtener la chapa en la cual se estamparán las distintas piezas.

Existen principalmente dos tipos de tecnologías para la obtención de aluminio: Söderburg y precocido. La tecnología Söderburg utiliza un ánodo continuo que se pone en la celda en forma de pasta y es calcinado en la misma celda. La tecnología del precocido utiliza múltiples ánodos precocidos suspendidos en cada celda por medio de unas varillas. Los ánodos gastados o terminales pueden ser remplazados por nuevos y reciclados en ánodos nuevos.

Por motivos medioambientales, el sistema Söderburg está siendo reemplazado gradualmente por el sistema de precocido.

La laminación es el primer paso en la transformación de productos metálicos. La mayoría de los procesos de laminación se realizan en caliente, esto quiere decir que se llevan a cabo a temperatura superior a la de recristalización. Con este proceso, se obtiene una reorientación del grano ya que la fibra queda en la misma dirección de la laminación, anisotropía direccional. En las piezas de aluminio es muy importante el sentido de laminado del formato. Para obtener el producto laminado, el material debe pasar por distintos cilindros que reducen su espesor hasta obtener el espesor requerido. Para la obtención de la chapa de las piezas en primer lugar el material pasa por unos cilindros calientes y a continuación pasa por cilindros fríos. Estas láminas pueden pasar por tratamientos térmicos diversos para reducir las tensiones que se hayan creado por el proceso de laminación. Una vez tenemos la lámina en bobinas, esta se corta a razón de la pieza que se vaya a producir para posteriormente ser estampada.

El conformado de la chapa o lámina consiste en una deformación plástica controlada de un metal hasta obtener una forma determinada, esta deformación se obtiene mediante la aplicación de presión sobre el material utilizando prensas.

Las matrices con las que se aplica la presión tienen la forma que se quiera obtener. Una parte de la matriz es fija mientras que la otra es móvil. Dependiendo de la forma que se quiera obtener, el material debe pasar por diferentes matrices que le irán dando poco a poco la forma final, de esta manera se evita la posibilidad de rotura por deformación excesiva o la aparición de grietas en el material. Este proceso proporciona una deformación homogénea del material. Las prensas pueden ser mecánicas o hidráulicas.

Las matrices que se usan para la estampación de aluminio son prácticamente idénticas a las de estampación de acero, a excepción de las cuchillas de corte, que tienen unos ángulos de destalonado diferente y un acabado superficial mucho mejor (pulido de radios, embutidor, sectores de corte). Uno de los factores a tener en cuenta a la hora de

la construcción de las matrices son los problemas con la recuperación elástica o “springback”, ya que éste es mucho mayor para el aluminio comparado con las piezas de acero.

Con este proceso se obtienen piezas de formas complejas con excelentes acabados superficiales, la relación peso/rigidez es muy buena y su productividad es elevada, aunque solo justificable en series largas debido al elevado coste de los utillajes y medios de producción.

El proceso de conformado en frío utilizado, es un proceso por el que se somete a una chapa a una carga, siendo la temperatura de entrada de la chapa temperatura ambiente.

Para el doblado de la chapa se utiliza un punzón y una matriz. Es importante tener en cuenta el espesor de la chapa, el ángulo de doblado y el radio de doblado. El doblado puede ser parte de un troquel que incorpore operaciones de punzonado y embutición, este troquel es más complejo. También se puede realizar en una operación aparte con maquinas específicas para esta función. Hay que tener en cuenta la recuperación elástica (“springback”) que es mayor cuanto mayor es el límite elástico del material.

3.1.2 Chapistería

Durante esta fase se ensamblan los distintos componentes de la carrocería. Este proceso empieza en el momento que las piezas entran en la línea de producción y termina cuando la carrocería y los elementos móviles están listos para la siguiente fase: pinturas.

Logística se encarga de abastecer a la línea de producción con el material necesario para su fabricación. Los almacenes tienen una temperatura variable ya que no están climatizados, esto influye en la temperatura de los formatos ya que en verano estos almacenes pueden llegar a temperatura de 40 °C y en invierno la temperatura puede alcanzar niveles inferiores a los 0 °C.

La producción de los conjuntos de estudio se explica en los apartados 3.3 Producción Capó y 3.4 Producción del Portón.

3.1.3 Pinturas

Antes de entrar de lleno en el proceso de pinturas, las carrocerías se someten a un pre-lavado, posteriormente a un desengrasado y un lavado.

Una vez la carrocería está limpia, esta se somete a un proceso de fosfatado tricatiónico. Este proceso permite preparar la superficie de las carrocerías.

El siguiente paso en el proceso es el KTL. Entre este proceso y el anterior se realiza un lavado con agua desmineralizada de la carrocería. El proceso de KTL (cataforesis), pintado por inmersión, totalmente automatizado, se basa en el desplazamiento de partículas cargadas dentro de un campo eléctrico (pintura) hacia el polo de signo opuesto (pieza metálica a pintar, carrocería). El objetivo principal de este tratamiento es la protección de superficies contra la corrosión.

Las piscinas de sumersión de KTL no paran de trabajar en todo el año para evitar sedimentación y solidificación del material.

Una vez finalizado este proceso la carrocería es lavada de nuevo y entra en un proceso de pre-secado mediante horno a 220 °C.

Finalmente la carrocería pasa un proceso de imprimación, dicho proceso varía en función del tipo de pintura utilizada.

En la siguiente figura se pueden observar las distintas capas del proceso de pintura.



Figura 3.3 Capas de los distintos procesos de pinturas

3.1.4 Montaje

La actividad de montaje se centra en ensamblar las piezas que se reciben de los proveedores, en las carrocerías pintadas que entran en la cadena desde pinturas.

Los objetivos de montaje son entregar diariamente los coches planificados con la calidad requerida por el cliente.

La mayoría de los trabajos se llevan a cabo manualmente.

Las instalaciones principales son:

- Línea de premontaje de puertas
- Montaje Cockpit
- Pruebas electrónicas
- Pegado de cristales
- Ensamblaje de ruedas
- Montaje de ruedas
- Llenado de líquidos
- Montaje de asientos
- Montaje de puertas
- Pruebas electrónicas finales

3.1.5 Calidad

Dentro del proceso productivo hay diferentes puntos para asegurar la calidad y cumplimiento de los procesos y estándares establecidos por cada empresa. Dentro de estos puntos de control existen auditorías donde se denuncian las anomalías encontradas en el proceso productivo.

Además de las diferentes auditorías internas existen auditorías medioambientales y de procesos.

En automoción, existen auditorías específicas para la carrocería, donde se comprueban las superficies de la chapa (se comprueba que no haya bollos o marcas), se comprueba que las técnicas de unión utilizadas durante el proceso de producción sean correctas y se comprueba la geometría del conjunto carrocería (incluyendo los elementos móviles, capó, portón y puertas).

3.2 Proceso fabricación chapistería

3.2.1 Técnicas de unión

- Clinchado: el proceso de clinchado permite la unión de dos o más chapas metálicas. En este proceso se produce una deformación plástica en frío.

Durante este proceso los materiales se sitúan entre un punzón y una matriz.

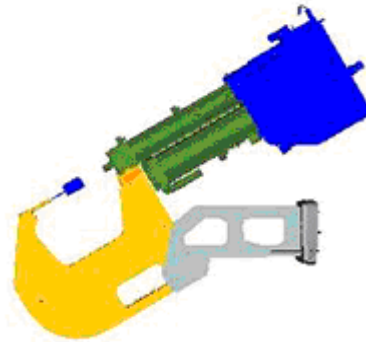


Figura 3.4 Pinza de clinchado

La pinza de clinchado consta de un punzón descendiente que presiona el material hasta que hace tope con la matriz. Una vez el material entra en contacto con la matriz, el punzón presiona el material y este fluye alrededor de las paredes de la matriz. Para que las piezas no se muevan, consta de varias pinzas que las mantienen en posición.

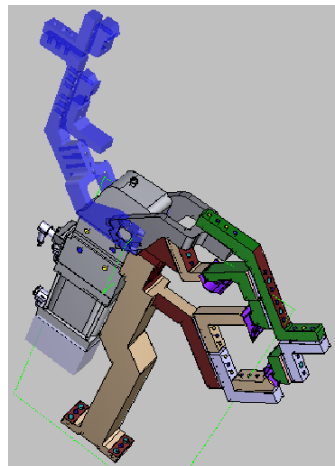


Figura 3.5 Pinza de sujeción

Posteriormente el punzón regresa a su posición inicial y se precede a extraer el conjunto.

Las principales ventajas de este proceso son que no genera humos, chispas o gran cantidad de ruido. El gasto de energía no es muy elevado y no es necesario realizar ningún pre tratamiento ni tratamiento térmico para realizar la unión.



Figura 3.6 Clinchado

- Soldadura láser: la soldadura por láser es un proceso de soldadura por fusión que utiliza la energía que aporta un haz láser, se amplifica la radiación en una determinada longitud de onda que emite como haz coherente, enfocándolo para producir la energía necesaria para fundir y recrystalizar los materiales a unir. En este tipo de soldadura comúnmente no existe la aportación de material externo sino que se realiza por el calentamiento de la zona a soldar y se le aplica presión entre los puntos de soldadura para realizar la unión. Se utiliza un gas protector que suele ser helio o argón.

Las principales ventajas de este proceso son que no se requiere un vacío ya que se puede transmitir fácilmente por aire, no genera rayos X, se produce poca distorsión y su tendencia a la fusión incompleta, salpicaduras y porosidades son muy pequeñas. No hay desgaste de herramienta y se puede controlar fácilmente la profundidad de penetración.

El precio de los equipos es muy elevado ya que son equipos muy automatizados y precisos.

Las soldaduras láser utilizadas son:

- Soldadura láser con aportación de material: el haz de luz láser se focaliza sobre el extremo de un alambre de Cu Si-3 que se funde. A medida que el cabezal láser avanza, se forma un cordón de soldadura que tiene la función de unir las dos piezas.

- Soldadura láser por transparencia: se focaliza el láser sobre las chapas a unir, provocando la fusión de las mismas en la zona de aplicación y consiguiendo por tanto una unión permanente entre estas.

- Soldadura por plasma: es un proceso de unión de piezas mediante plasma, no se llega a hacer soldadura entre ambas piezas. El plasma es el resultado producido por un arco que calienta un gas ionizándolo.

- Soldadura MIG/MAG: la soldadura MAG (Metal Activ Gas) es un proceso de soldadura por arco que utiliza un gas activo para proteger la atmósfera con electrodo consumible. El arco se produce entre un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir. Es un proceso versátil ya que se puede depositar el metal a gran velocidad y en todas las posiciones.

Las principales ventajas de este proceso es la posibilidad de soldar en todas las posiciones, la ausencia de escoria a retirar, buenos acabados, poca formación de gases contaminantes y tóxicos. Es un proceso semiautomático o automático lo cual implica menos dependencia de un operario, con alta productividad.

El principal gas que se utiliza para la soldadura MAG es el CO_2 y su utilización es para aceros.

En la soldadura MIG (Metal Inert Gas), el gas que actúa como protección es inerte, es decir, que no actúa de manera activa en el propio proceso, y por tanto, muy estable.

De los seis gases inertes existentes (argón, helio, neón, criptón, xenón y radón) el argón es el más empleado en Europa, mientras que el helio es el más empleado en Estados Unidos.

El argón se ioniza fácilmente, de manera que la tensión del arco bajo argón es sensiblemente inferior a la tensión bajo helio. El argón puro únicamente se utiliza en la soldadura del aluminio, el cobre, el níquel o el titanio. Si se aplica argón puro al acero, se producen mordeduras y cordones de contorno irregular. Las soldaduras realizadas con gas helio producen cordones de soldadura más anchos y con una penetración menor que cuando se suelda con argón

- Soldadura por puntos: este proceso utiliza la propia resistencia de los materiales al paso de corriente eléctrica para generar el calor necesario para llegar a la temperatura de fusión del material en los puntos donde se le aplica esta corriente eléctrica.

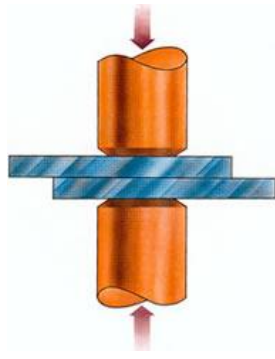


Figura 3.7 Soldadura por puntos

- Masillas: las masillas se utilizan como método de unión por adhesivo. Es una sustancia que se aplica entre las superficies de los materiales que permite la unión de las mismas.

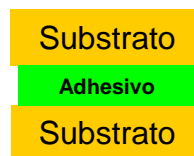


Figura 3.8 Masilla

Las ventajas que presenta este proceso con respecto a otros procesos de unión son: una unión económica de distintos materiales, las uniones son selladas, actúan como aislamiento, se produce una rigidez de las uniones y distribución uniforme de tensiones.

Como inconvenientes de este proceso están la necesidad de preparación superficial, dificultad de desmontaje, resistencias mecánica y a la temperatura limitadas.

- Engrapado: este proceso se realiza el doblado de la chapa hasta que este engrapa la chapa que debe ir dentro. El robot que realiza en engrapado consta de 2 o más rodillos donde a cada pasada realiza un ángulo de doblado. El doblado no se puede realizar en una pasada ya que el ángulo es muy grande y podrían producirse roturas. El doblado se realiza en el revestimiento y une el armazón con el revestimiento.

3.2.2 Conjunto carrocería

En la figura 3.9 se puede observar el conjunto carrocería de un vehículo con los elementos principales que la componen.

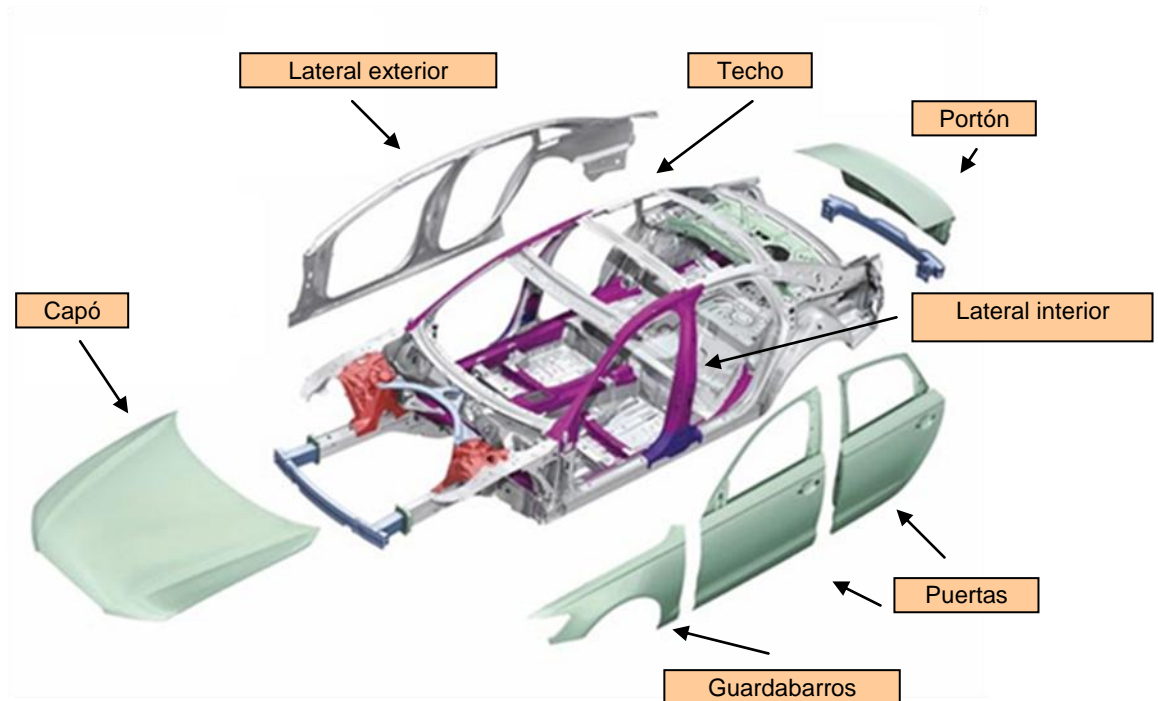


Figura 3.9 Conjunto carrocería

3.3 Producción Capó

3.3.1 Componentes del capó

Las piezas principales que forman un capó son:

- Revestimiento. Cubierta exterior del capó.
- Armazón. Pieza que presta estructura al conjunto.
- Refuerzo bisagra. Pieza que aporta más resistencia a la zona donde posteriormente se ensamblará la bisagra que permitirá la articulación del capó.
- Refuerzo cerradura. Pieza que aporta mayor resistencia a la zona de la cerradura.

3.3.2 Proceso de producción del capó

La producción de un capó se inicia con la unión del refuerzo cerradura, refuerzos bisagra al armazón del capó. Estas uniones se realizan mediante procesos de clinchado y otros sistemas de unión como procesos de soldadura. Cada modelo tiene un proceso propio de producción. Posteriormente se debe unir el conjunto que forman el armazón, refuerzos bisagra y refuerzos cerradura al revestimiento para completar el conjunto capó. Esta unión se realiza mediante el uso de masillas que adhieren ambas partes y mediante el uso del proceso de engrapando, el cual mediante el doblado de las pestañas del revestimiento fijan el armazón con el revestimiento.

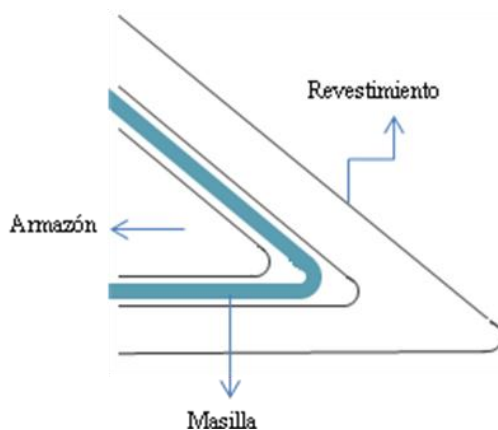


Figura 3.10 Engrapado

3.4 Producción Portón

3.4.1 Componentes del portón

Las piezas principales que forman un capó son:

- Revestimiento (en algunos modelos esta pieza puede ser única o bien puede dividirse en revestimiento superior e inferior)
- Piezas de cierre
- Refuerzos bisagra
- Refuerzo cerradura
- Armazón

3.4.2 Proceso de producción del portón

Revestimiento formado por dos piezas

El procedimiento es similar al proceso utilizado para el capó. Mediante la utilización del sistema de unión clinchado se une el armazón con los refuerzos bisagra y refuerzo cerradura.

Por otro lado deben unirse el revestimiento inferior con el superior y las piezas de cierre. Esto se hace mediante el uso de soldadura. Debido a que estas piezas forman la parte exterior del conjunto portón y es la zona de alcance visual la unión no puede realizarse con un sistema de clinchado ya no tendría un buen acabado estético.

Para la unión del revestimiento con el armazón se utiliza el mismo proceso que en el capó. Mediante la utilización de masillas y el engrapado se unen ambas piezas para formar el conjunto portón.

Revestimiento de una sola pieza

Este procedimiento es igual que en el caso anterior con la diferencia de que el revestimiento es de una sola pieza, lo que implica la eliminación de los pasos de unión mediante soldadura del revestimiento inferior con el superior.

Además de estas piezas el portón puede incluir la colocación del perno de masa.

Se deben realizar inspecciones visuales para evitar la existencia de reboses de masilla. Si existiera rebose, este debe ser eliminado.

Para los capos y portones de aluminio se utiliza un horno de gelificado cuya función es secar y endurecer las masillas utilizadas como fijación entre revestimiento y armazón.

3.5 Funcionamiento del horno de gelificado.

El horno cumple con el proceso de pre-gelificado de masilla estructural de los elementos de carrocería fabricados con aluminio, aplicado entre los refuerzos de piezas de aluminio del capó y portón. Los conjuntos deben ser dispuestos en posición vertical en contenedores tipo Box.

La instalación esta dimensionada para poder procesar máximo 15 contenedores/hora. Teniendo en cuenta la demanda puntual del mercado existe la posibilidad de ajustar la producción mediante selección en el armario eléctrico entre 10 contenedores/hora y 15 contenedores/hora.

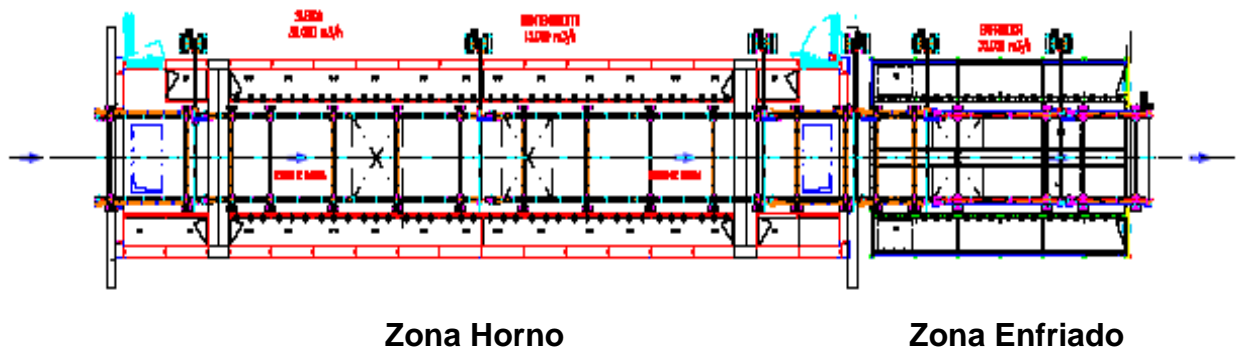


Figura 3.11 Horno de Gelificado

El horno consta de tres fases, la primera es la zona de calentamiento, donde la pieza adquiere una temperatura de 140 ± 5 °C y permanece en esta fase durante 15 minutos. Se aplica aire caliente mediante toberas articuladas a lo largo y ancho del mismo.

El calentamiento del aire es indirecto, se realiza mediante quemador modulante de gas e intercambiador tubular aire/aire situados en las cámaras de calentamiento de las zonas de subida y de mantenimiento del horno. El aire de combustión se evacua a través de conductos aislados al exterior de la nave.

La segunda zona, es la zona de mantenimiento donde las piezas se mantienen a una temperatura de 140 ± 5 °C durante 15 minutos. El procedimiento es el mismo que en el caso de la zona de calentamiento.

Por último está la zona de enfriamiento, donde mediante toberas se aplica aire del exterior para enfriar las piezas. Al final de esta fase las piezas obtienen una temperatura de 35 – 45 °C. Esta fase se realiza durante 15 minutos. Las canalizaciones que obtienen el aire del exterior para realizar en enfriamiento de las piezas constan de unos sensores

que permiten contralar la temperatura con la que entra. Si esta temperatura es muy baja (por ejemplo en invierno) se debe calentar el aire que entra para evitar cambios bruscos en el enfriamiento de las piezas.

En la siguiente figura se puede observar la curva teórica del proceso.

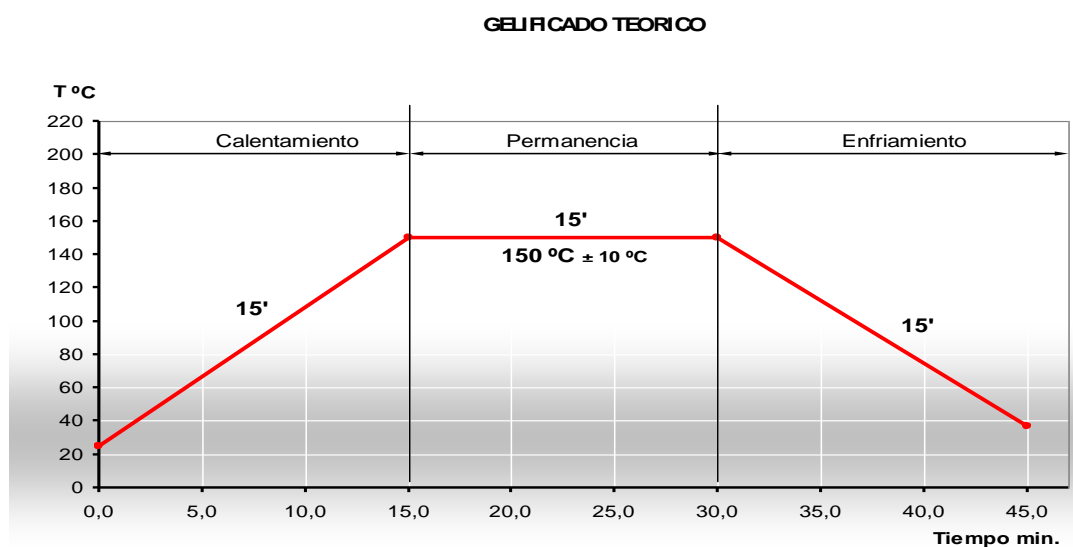


Figura 3.12 Curva teórica del proceso de horno de gelificado

3.6 Técnicas de Medición y otros controles

Dentro del proceso de fabricación existen numerosos soportes para garantizar la calidad del producto final, como las técnicas de medición (In-Line, DEA y Opti-Cell) donde se miden carrocerías y componentes del vehículo. Estos controles permiten hacer un seguimiento de la producción, de manera que se puedan detectar posibles problemas durante el proceso. De esta manera se puede analizar de donde proviene el problema e intentar solucionarlo antes de que la producción de piezas defectuosas sea demasiado grande y provoque una parada de producción y/o pérdidas económicas considerables.

Dependiendo del sistema de medición utilizado las mediciones se realizan a una cantidad diferente de conjuntos.

DEA

Este proceso de medición se realiza mediante una máquina automatizada que se desplaza a los puntos indicados y mediante tacto toma las coordenadas del punto.

El software que se utiliza, permite realizar una comparación de mediciones contra un archivo CAD de la pieza. Además, este software permite la realización de informes con las coordenadas nominales, las obtenidas tras medición y las desviaciones.

Antes de realizar las mediciones, las esferas del útil son alineadas para una correcta medición de los puntos. También se tienen en cuenta la temperatura y humedad a la que se realiza la medición, dependiendo de éstas, la máquina calcula automáticamente la variación dimensional que pueda haber por estas causas.

Este proceso tiene una resolución de 0,001 mm y puede medir grandes volúmenes, por lo que puede medir sin problemas carrocerías enteras.

Debido a la exactitud y lentitud de este proceso, no se realiza un control de medición de todos los conjuntos producidos con este proceso.

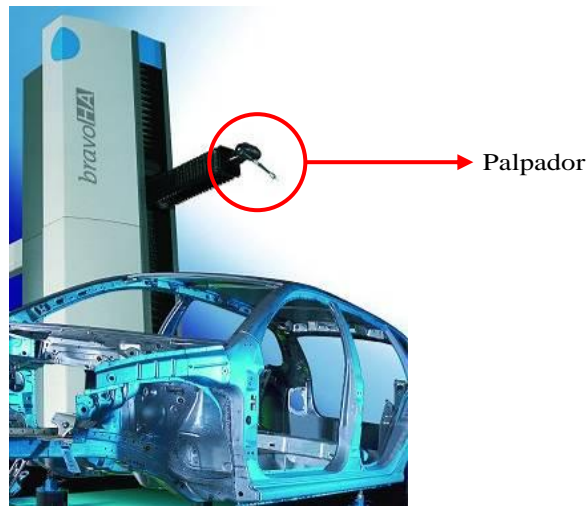


Figura 3.13 DEA [7]

Opti-Cell

Este proceso está automatizado y utiliza la fotogrametría para realizar las mediciones.

De mismo modo que el proceso anterior, este comprueba la temperatura de la sala de medición para calcular posibles variaciones dimensionales. Si la variación de la temperatura es de $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, realiza automáticamente una calibración del cabezal.

El pre- alineamiento de dicha pieza se realiza mediante los puntos ya programados. Tras el alineamiento de la máquina con la pieza, esta toma imágenes de la pieza que después comparará con el documento CAD de dicha pieza.



Figura 3.14 Medición Opti-Cell [7]

In-Line

Este proceso utiliza la fotogrametría para realizar mediciones. La principal diferencia entre In-Line y Opti-Cell, es que en el proceso In-Line permite medir el 100% de las piezas del proceso. Esto es posible gracias a que estos sistemas de medición están incorporados en el proceso de producción y no son estaciones aparte de la línea.

Este proceso debe correlacionar las mediciones obtenidas con DEA para conseguir un off-set (si existiera) entre las mediciones. Una vez se obtiene el off-set el programa calcula automáticamente las coordenadas.

Este proceso permite ver rápidamente cambios de tendencias durante la producción.

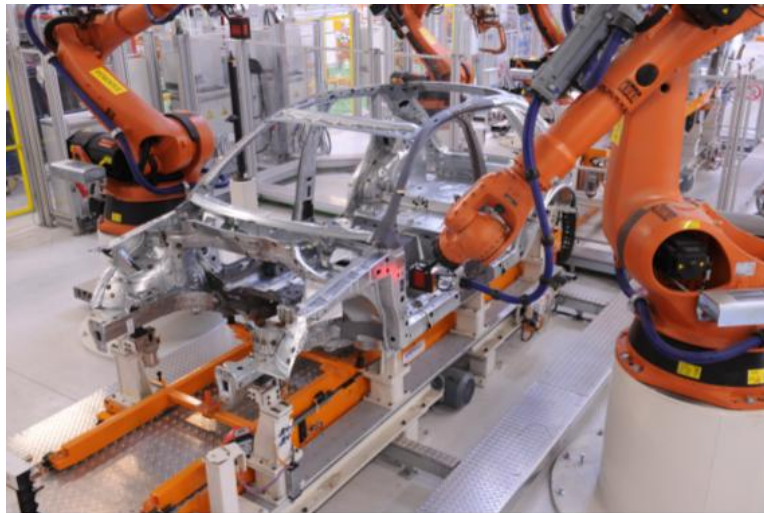


Figura 3.15 Medición In-Line

En la figura 3.16 se puede observar un ejemplo de mediciones por este proceso. Escogiendo el punto que se desea analizar, el eje de coordenadas y la cantidad de mediciones que se desean, se obtiene un gráfico de evolución.

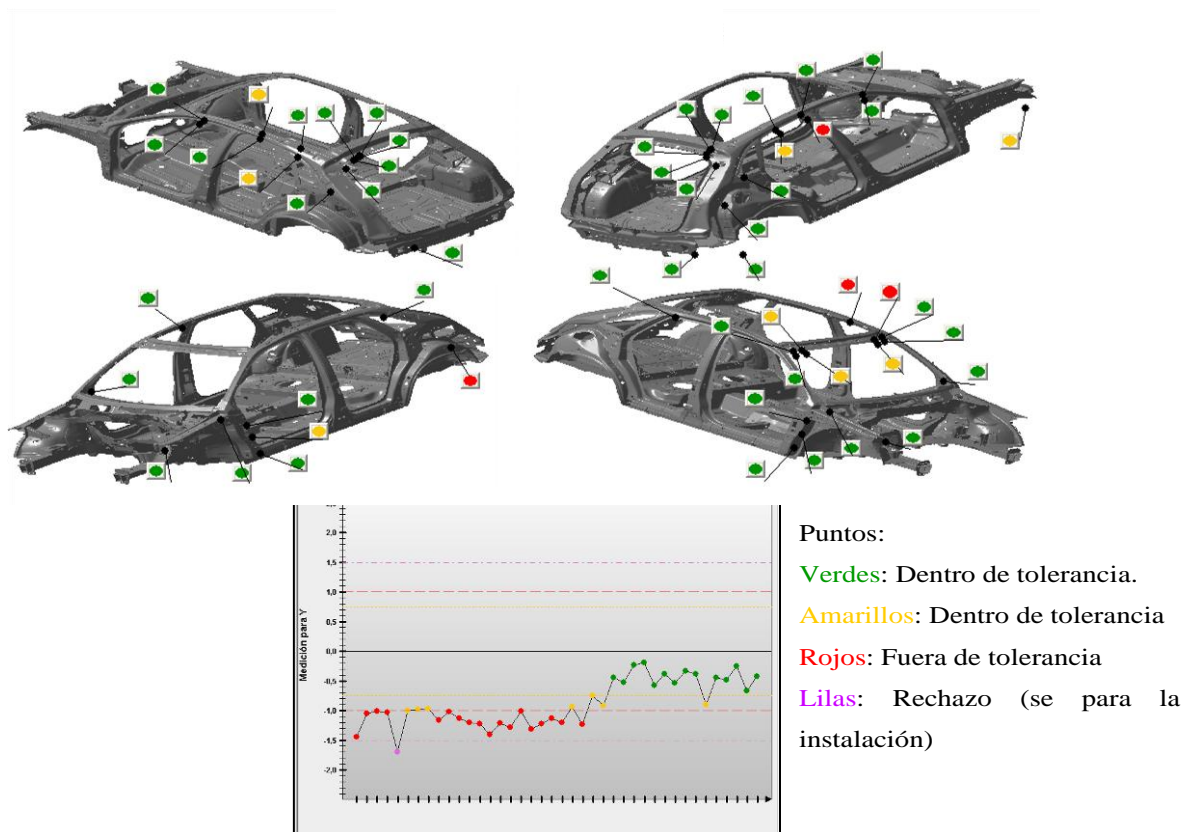


Figura 3.16 Medición In-Line

El proceso DEA se realiza tanto en carrocería como en elementos móviles aunque por su exactitud y tiempo de proceso, no se puede realizar al 100% de las piezas si no que existe un protocolo que indica cuantos controles deben realizarse a la semana.

El proceso Opti-Cell se utiliza en los elementos móviles y tampoco se realiza al 100% de las piezas. Existe un protocolo que indica cuantas deben hacerse por turno.

En las figura 3.17 se puede observar un ejemplo de hoja de un informe de medición. Estos informes constan de varias hojas dependiendo de la cantidad de puntos que según los estándares se tengan que medir y de la pieza que se esté analizando.

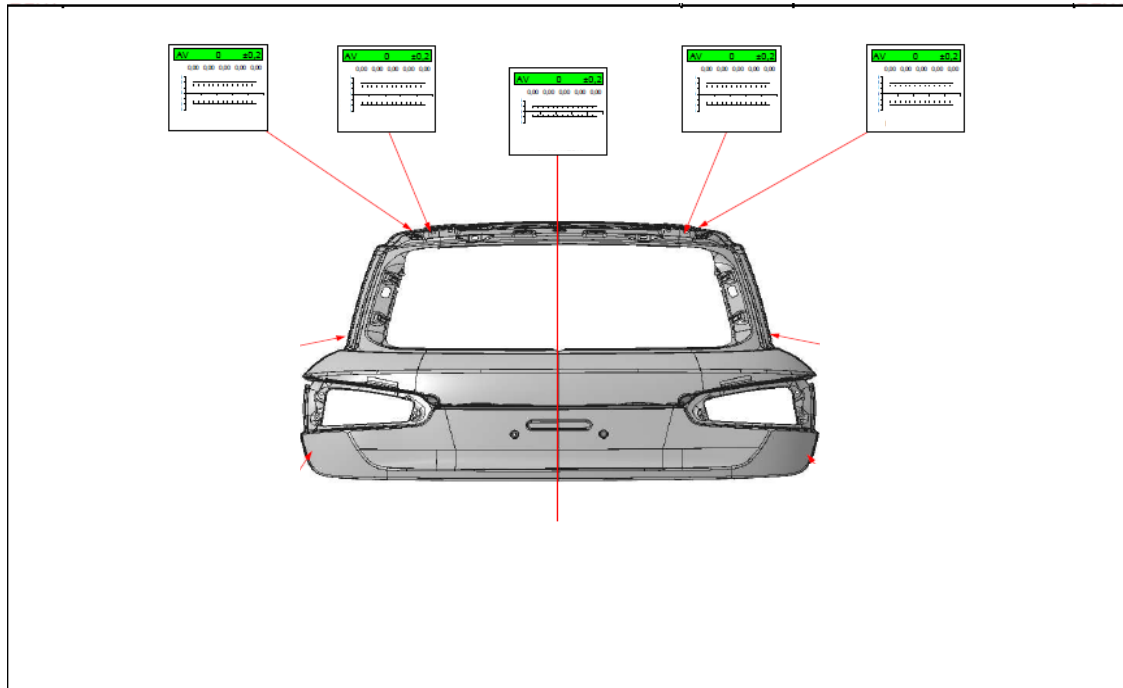


Figura 3.17 informe medición

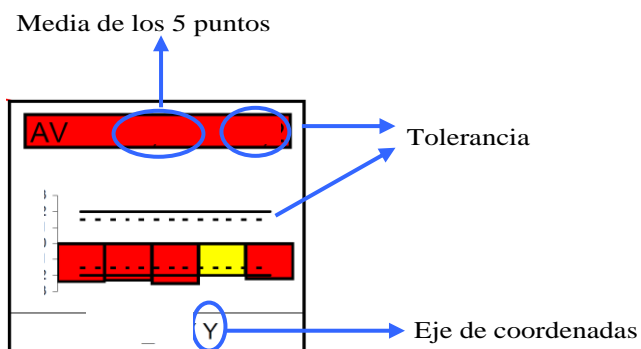


Figura 3.18 Gráfico medición de un punto en eje Y

Los informes obtienen gráficos de mediciones de cada punto medido (en este ejemplo se han escogido las últimas 5 mediciones, pero estos gráficos se pueden hacer de la cantidad de mediciones que se necesite).

El color rojo indica que ese punto está fuera de tolerancia, el amarillo que tiene tendencia a acercarse al límite de la tolerancia y el verde indica que esta dentro de tolerancia.

Estos puntos pueden estar medidos en un eje de coordenadas, si es así esto se indica en el gráfico (observar figura 3.18). En algunas ocasiones, en lugar de indicar el eje de coordenadas, este indica la desviación respecto a la normal de la superficie con la simbología “DI” como se puede observar en la figura 3.19.

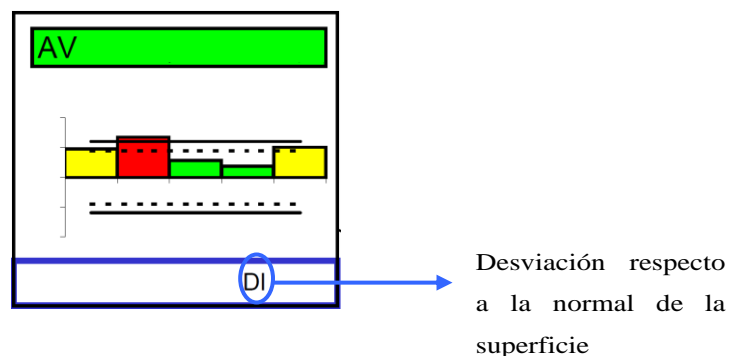


Figura 3.19 Gráfico de medición de un punto en DI

Los puntos principales de geometría son puntos de medición o una distancia entre dos puntos del conjunto que son importantes para el montaje, para asegurar franquicias, enrases.

Existen puntos de referencia principales en cada conjunto desde donde se referencia el resto de puntos de geometría.

El sistema Opti-Cell permite la realización de un mapeado de los conjuntos donde se indica mediante colores las zonas que se encuentran dentro y/o fuera de tolerancia.

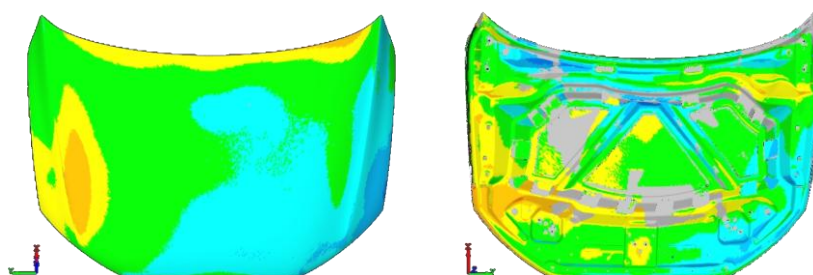


Figura 3.20 Mapeado Opti-Cell

Otros controles de medición

Para la obtención de vehículos con acabados de alta calidad debe haber distintos controles de medición para el aseguramiento de la geometría final.

Uno de estos controles, es la medición de franquicia y enrase. Las franquicias son la distancia que queda entre la carrocería y los elementos móviles los cuales deben seguir unos protocolos para que la estética final del vehículo sea óptima. Los enrases son la altura que hay entre los elementos móviles y la carrocería; esta debe ser lo más próxima a 0 o quedar por debajo del nivel de la carrocería para garantizar la aerodinámica del vehículo

Este control se puede realizar antes de que los conjuntos pasen por el horno de gelificado, utilizando calibres que simulen la posición de los conjuntos en coche acabado. Mediante relojes comparativos, galgas y/o pies de rey se pueden medir franquicias y enrasas.

También se pueden comprobar después del horno de gelificado montando los elementos móviles en una carrocería de producción en serie. Así se observan los acabados finales que tendrá la carrocería acabada. En este punto donde sólo se encuentra la carrocería acabada, deben utilizarse útiles que simulen la posición final exacta de los elementos móviles, como por ejemplo útiles que simulen la posición del parachoques, etc.

También se deben hacer inspecciones superficiales. Durante este proceso se observa que no haya bollos, deformaciones, ralladas, etc.

Otros controles que se realizan son la comprobación de clinchados, pernos, masilla y penetración de soldadura mediante pruebas destructivas.

4. Situación de partida para el estudio

4.1 Análisis de los factores de Influencia

Bajo la influencia de temperaturas muy elevadas se pueden producir modificaciones permanentes en la estructura de los materiales. En los materiales que han sido endurecidos por deformación en frío o mediante otros tratamientos, la modificación de la estructura provoca una disminución de la resistencia mecánica, normalmente irreversible. El material puede experimentar deformaciones lentas bajo cargas en reposo, aumentando la velocidad en el cambio de forma con el incremento de la temperatura y de la tensión [9]. Estas deformaciones pueden provocar roturas o deformaciones significativas para el producto final.

La alta conductividad térmica del aluminio y sus aleaciones y las variaciones de temperatura que hay durante el proceso de fabricación de las piezas tienen una gran influencia en la producción de los elementos móviles capó y portón. Aunque se intenta controlar la temperatura durante el proceso productivo, anteriormente estas piezas han estado en talleres de almacenaje que varían su temperatura dependiendo de la estación del año en la que se encuentran; así pues en verano las temperatura en las zonas de almacenamiento puede llegar a alcanzar temperaturas de entre 40 y 50 °C, mientras que en invierno pueden estar por debajo de los 0 °C, ya que no existe sistema de climatización en los almacenes.

Teniendo en cuenta la variación de temperatura a la que están sometidas las piezas y la alta conductividad térmica del aluminio se toma ésta como una variable de estudio. Si se observan informes de medición anteriores al comienzo de este estudio, se observan variaciones dimensionales notables al comparar informes de invierno y verano. Por esta razón se decide hacer distintas pruebas de temperatura para observar la variabilidad de los formatos de aluminio con la temperatura.

La composición química de las aleaciones influye en las propiedades mecánicas que tienen las piezas con las que se realizan estos conjuntos. Se toma la variable de composición química como otra variable de estudio para observar que influencia tiene en el producto final.

Posibles errores durante la estampación podrían ser causa de la inestabilidad dimensional de los formatos. Las estampaciones no son siempre exactas las unas con las otras, aunque estas se encuentren dentro de tolerancias dimensionales, químicas, físicas y mecánicas marcadas por los estándares establecidos por cada marca. Durante el

proceso se observan variaciones dimensionales en los formatos sueltos entre distintos lotes. Esto influye en el proceso de producción de los conjuntos. No se toma esta hipótesis como variable para el estudio debido a que dichos formatos son producidos por empresas proveedores que proveen a la empresa con los formatos supuestamente dentro de los estándares marcados. El estudio de su proceso queda fuera de las competencias de este trabajo.

Durante el proceso de endurecimiento de las masillas que se utilizan como sistema de unión entre algunas piezas que forman los conjuntos capó y portón mediante la utilización de un el horno de gelificado, se observan variaciones geométricas entre el antes y el después de dicho proceso. Teniendo en cuenta la temperatura que alcanzan los conjuntos en el horno de gelificado y los posibles cambios estructurales que este proceso pueda ejercer en ellos, se determina a este proceso como una variable de estudio con posible influencia en la geometría final del capó y portón.

Así pues las tres variables más significativas con posible influencia en la geometría final del producto son el proceso de horno de gelificado, las variaciones de temperatura de los formatos (estando ya estampados) y la composición química, siendo estas las que se tomaran como variables de estudio.

4.2 Funcionamiento actual: controles, protocolos, repercusiones

4.2.1 Puntos de control en calibre

Como se describe en apartados anteriores donde se describen los procesos de producción de capó y portón y procesos de control, una de los procesos que se debe realizar es la inspección de franquicias y enrases mediante la utilización de un calibre que simula la posición en carrocería. A continuación se observan los puntos donde se efectúa el control de las franquicias y enrases que se deben obtener en el calibre de capó y portón después de que estos sean ajustados. Recordar que esto se realiza antes del proceso de horno de gelificado.

Capo

En la siguiente figura se pueden observar los puntos que se comprueban en el calibre capó.

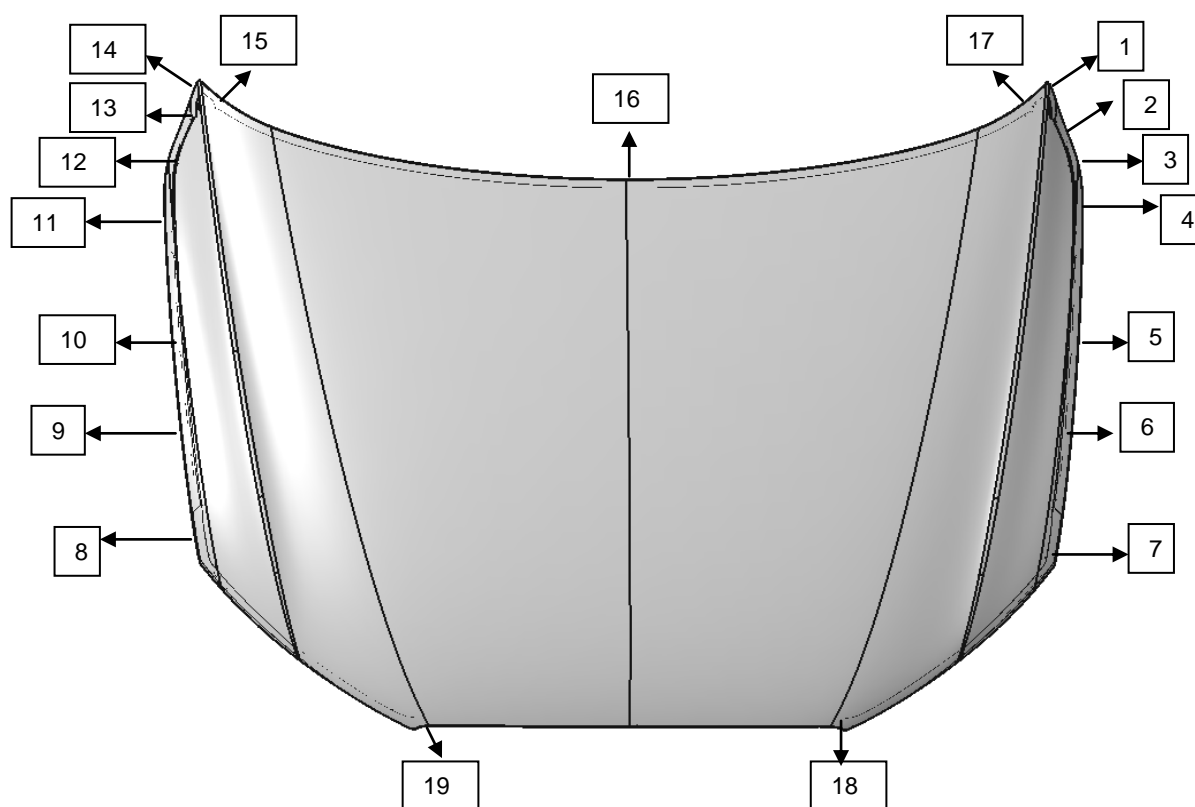


Figura 4.1 Puntos calibre capó

Portón

En la siguiente figura se pueden observar los puntos que se comprueban en el calibre de portón.

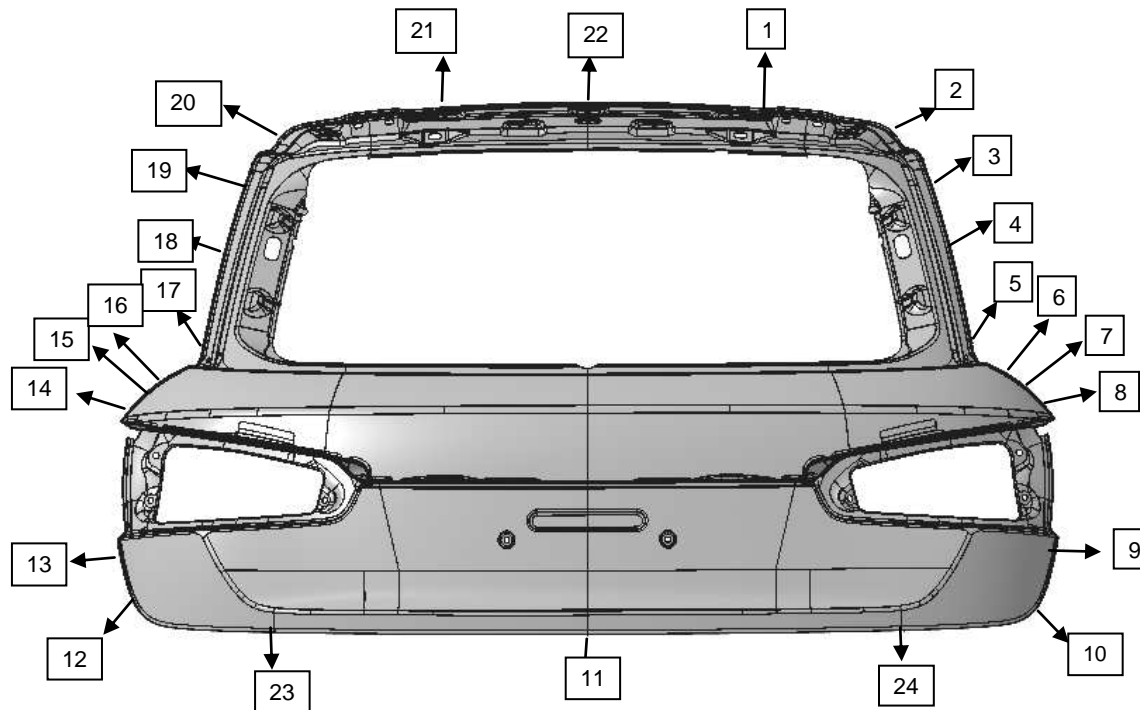


Figura 4.2 Puntos calibre portón

Por confidencialidad, se omiten los valores estandarizados para franquicias y enrase en el calibre.

4.2.2 Estándar ajuste línea

Por razones de confidencialidad se omiten los puntos de control de los elementos móviles en carrocería así como los valores óptimos de enrase y franquicias establecidos por la empresa.

4.3 Definición puntos de control

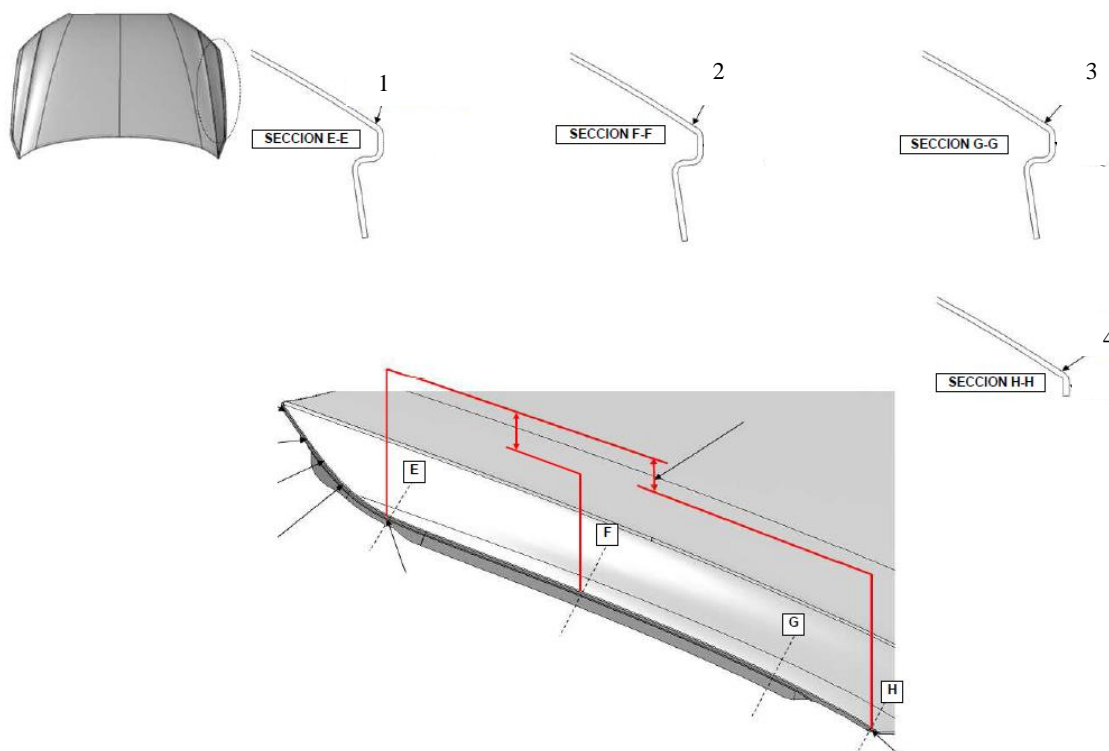
Debido a la gran cantidad de puntos que se miden de cada conjunto para realizar los informes de medición, se decide escoger para el estudio 18 puntos del capó importantes para poder realizar comparaciones entre pruebas y resultados de producción en serie.

La mayoría de las pruebas se realizan en el capó por la simplicidad del conjunto y del proceso de producción. El capó consta de menos piezas para su producción y la manipulación de las piezas en la instalación es más fácil que la del portón. A su misma vez, la cantidad de pasos para la producción de capó es menor que en el conjunto portón, con lo que los errores que se podrían derivar de los distintos pasos durante la producción son menores.

La introducción y extracción de piezas en la instalación del capó es menos dificultosa que en la del portón.

Por estas razones se decide hacer la mayoría de las pruebas en el capó, siempre y cuando esto sea posible.

En las siguientes figuras se pueden observar los puntos que se determinan para el estudio, basándose en su importancia para la geometría final del producto y en su histórico.



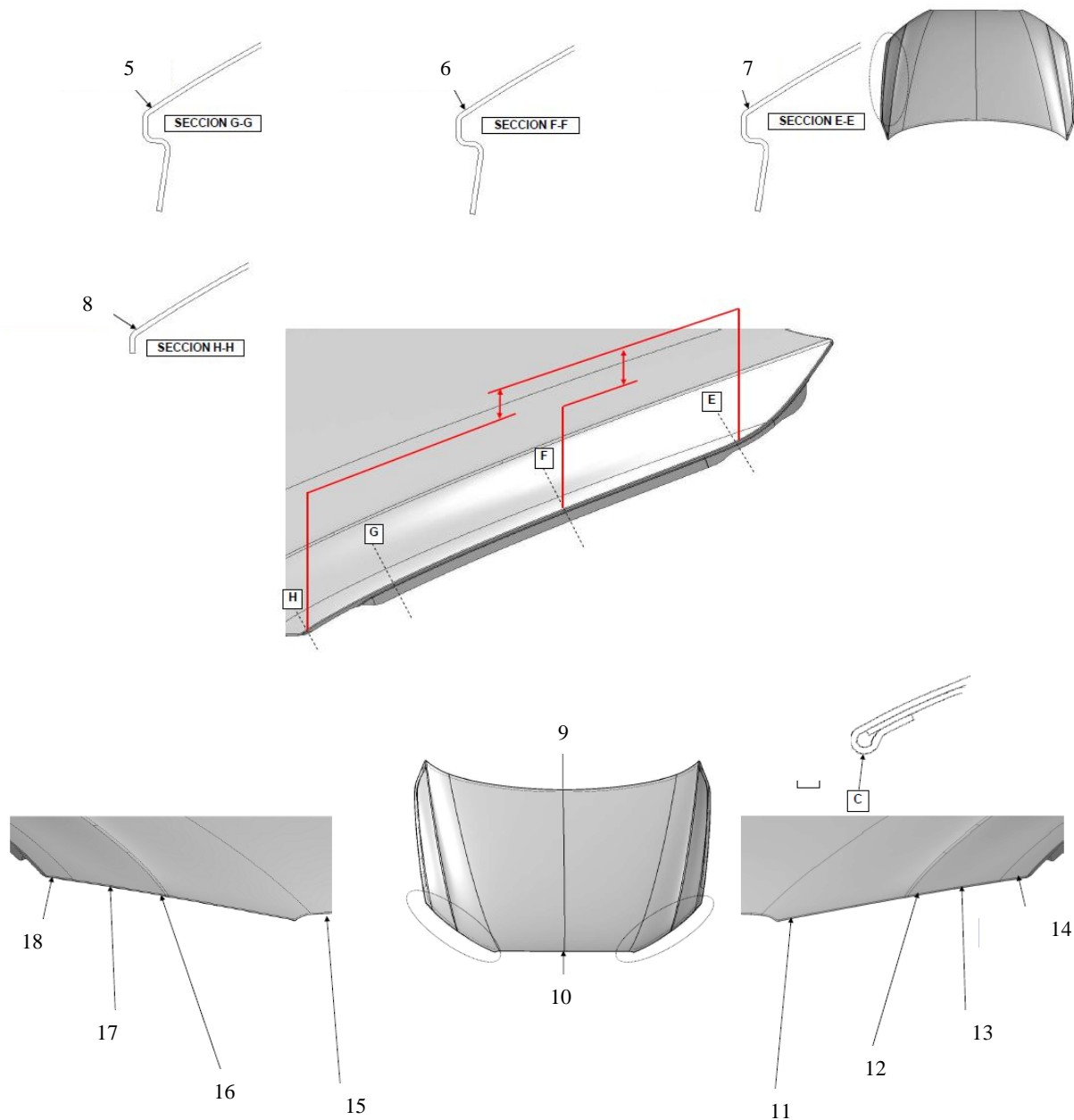


Figura 4.3 Puntos de control

Se toman estos puntos como puntos de control ya que son los que el departamento de calidad toma como más importantes, éstos indican el volumen del conjunto y por tanto son de vital importancia en el efecto visual del producto final. A su misma vez, en estos puntos es donde se observa mayor variabilidad dimensional desde el inicio de la producción.

5. Métodos experimentales

Se realizan distintas pruebas para evaluar la influencia de las variables de estudio especificadas en el apartado 4.1 Análisis de los factores de influencia, en la geometría final del producto.

5.1 Pruebas composición química y características mecánicas

Los límites de características mecánicas y composición química están descritos en el apartado 2.5 de este trabajo.

Prueba 1. Ensayo características mecánicas y composición química

Se realiza un ensayo en laboratorio para comprobar la composición química y características mecánicas de un bobinado para armazón antes de estampación.

El método de ensayo sigue las normativas EN ISO 6892-1 Ed. 2009.12 y DIN EN 515 Ed. 1993.12.

Los equipos utilizados para la realización de estas pruebas son:

- Máquina universal ensayos mecánicos ZWICK 150NS
- Rugosímetro Mahr Mahrsurf PS1
- Medidor de espesores DELTASCOPE MP FISCHER

Todos estos equipos son calibrados según plan de control establecido por el departamento de metrología.

Se realiza el ensayo en 3 probetas y se hace una media de los resultados obtenidos.

Tabla 5.1 Características mecánicas

	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}/R_m$	A_{80} %	A_G %	Índice $n_{5\%}$	Índice $r_{10\%}$
Prescrito	≤ 140	≤ 240	$\leq 0,6$	≥ 23	≥ 19	$\geq 0,26$	$\geq 0,6$
Hallado	118	234	0,5	23	20	0,29	0,66

Tabla 5.2 Tratamiento térmico T6 según DIN EN 515 (30 minutos/205 °C)

	R_{p0,2} (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A₈₀ %
Prescrito	≥ 210	≥ 260	≥ 10
Hallado	237	287	15

Tabla 5.3 Rugosidad

	Rugosidad μm	Numero de picos Pico/cm
Prescrito	1±0,3	≥ 50
Hallado	0,1	72

Tabla 5.4 Composición Química (composición química % en masa)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Prescrito	≤ 1,50	≤ 0,50	≤ 0,30	≤ 0,80	≤ 1,00	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,25
Hallado	1,04	0,24	0,09	0,16	0,35	0,04	-	0,02

Prueba 2. Ensayo de composición química de dos armazones de capó

Se realiza un ensayo en laboratorio para comprobar la composición química de dos armazones capó tras observar sus mediciones en DEA. Los capos, con estampaciones de sus respectivos armazones en distintos días, se producen en días consecutivos. Sin realizar ninguna actuación en la instalación se puede observar en los informes de medición de DEA y Opti-Cell, que se pasa de una situación de 3 puntos de medición en rojo (muestras OK) a una situación de 18 puntos de medición en rojo (Muestra NOK).

La muestra 1 es el conjunto NOK con fecha de estampación 30-10-2013.

La muestra 2 es el conjunto OK con fecha de estampación 08-09-2013.

El método de ensayo sigue la normativa DIN EN 515 Ed. 1993.12.

El equipo utilizado para la realización de esta prueba es:

- SpectroMaXx

Todos los equipos son calibrados según plan de control establecido por el departamento de metrológica.

Se realizan 4 ensayos con cada muestra. El primero se descarta al obtener valores que discrepan con los valores obtenidos en los otros 3 ensayos. Una vez se obtienen los resultados, se realiza una media de los valores.

Tabla 5.5 Composición química muestras 1 y 2 (composición química % en masa)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Prescrito	≤ 1,50	≤ 0,50	≤ 0,30	≤ 0,80	≤ 1,00	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,25
Muestra 1	0,82	0,26	0,1	0,16	0,44	0,04	-	0,02
Muestra 2	0,81	0,23	0,09	0,16	0,43	0,04	-	0,02

Se calcula el porcentaje de diferencia entre ambas muestras mediante la siguiente fórmula:

$$\% = 100 - [V_{\min} * 100 / V_{\max}]$$

Tabla 5.6 Diferencia porcentual entre muestras

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
%	1,22	11,54	10,0	0	2,27	0	-	0

Observando la tabla 5.5, se concluye que la diferencia en composición química (% en masa) es muy pequeña. Al realizar la diferencia porcentual entre ambas pruebas se observa una diferencia igual o mayor al 10%, entre las muestras en hierro y cobre.

El cobre en las aleaciones de aluminio aumenta notablemente la resistencia a la tracción y a la dureza (tanto en condiciones de extrusión como en tratado térmico) y reduce la resistencia a la corrosión y a la resistencia al agrietamiento en caliente. Disminuye la colabilidad en piezas de fundición.

El hierro aparece en las aleaciones como compuesto intermetálico insoluble, debido a que en estado líquido es altamente soluble pero a temperatura ambiente no lo es. El aumento del hierro incrementa la resistencia mecánica pero disminuye la ductibilidad.

Prueba 3 Ensayo características mecánicas de armazón y revestimiento portón y capó

En esta prueba se toman muestras de los bobinados con los que se realizan los armazones y revestimientos del portón y del capó. Así pues se obtienen 4 muestras.

Muestra 1: Revestimiento Capó

Muestra 2: Armazón Capó

Muestra 3: Revestimiento Portón

Muestra 4: Armazón Portón

Los métodos de ensayo se realizan siguiendo la normativa EN ISO 6892-1 Ed. 2009.12.

Los equipos utilizados para la realización de dichas pruebas son la máquina universal de ensayos mecánicos ZWICK 150NS y rugosímetro Mahr Mahrsurf PS1.

Para todas las pruebas de este apartado se ensayan 3 probetas por cada muestra de chapa y se realiza una media de los tres resultados para obtener un valor final.

Tabla 5.7 Características mecánicas

		$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}/R_m$	A_{80} %	A_G %	Índice $n_{5\%}$	Índice $r_{10\%}$	Ra / Picos
Muestra 1 Revestimiento Capó	Prescrito	≤ 130		≤ 0,55	≥ 24	≥ 20	≥ 0,26	≥ 0,6	> 0,70 / > 40
	Hallado	110	212	0,52	23,8	20,5	0,26	0,75	0,89 / 69
Muestra 2 Armazón Capó	Prescrito	≤ 140	≤ 240	≤ 0,6	≥ 23	≥ 19	≥ 0,26	≥ 0,6	0,70-1,3 / ≥ 50
	Hallado	114	224	0,51	25,2	20,8	0,26	1,01	1,10 / 91
Muestra 3 Revestimiento Portón	Prescrito	≤ 130		≤ 0,55	≥ 26	≥ 22	≥ 0,28	≥ 0,6	> 0,70 / > 40
	Hallado	119	232	0,51	27,4	22,7	0,28	0,63	1,14 / 65
Muestra 4 Armazón Portón	Prescrito	≤ 140	≤ 240	≤ 0,6	≥ 23	≥ 19	≥ 0,26	≥ 0,6	0,70-1,3 / ≥ 50
	Hallado	122	227	0,54	25,8	20,9	0,26	0,96	1,05 / 91

Tabla 5.8 Tratamiento térmico T6 según DIN EN 515 (30 minutos/205 °C) armazones

		$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A_{80} %
Muestra 2 Armazón Capó	Prescrito	≥ 210	≥ 260	≥ 10
	Hallado	234	285	19,1
Muestra 4 Armazón Portón	Prescrito	≥ 210	≥ 260	≥ 10
	Hallado	241	290	16,1

Tabla 5.9 Características mecánicas tras estiramiento al 2% y calentamiento durante 20 minutos a 185 °C, revestimientos

		$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A_{80} %
Muestra 1 Revestimiento Capó	Prescrito	≥ 200	≥ 240	≥ 12
	Hallado	215	248	20,9
Muestra 3 Revestimiento Portón	Prescrito	≥ 200	≥ 240	≥ 12
	Hallado	155	253	25

Todos los resultados cumplen con las especificaciones detalladas en el apartado 2.5 de este trabajo para chapas de aluminio serie 6XXX, exceptuando el límite elástico al 0.2% del revestimiento portón tras un estiramiento al 2% durante 20 minutos a 185 °C.

Destacar la diferencia de $R_{p0,2}$ entre las muestras 1 y 3 con los mismos límites prescritos para esta característica, donde su diferencia es de un 27.9%.

5.2 Estudio de la influencia del horno de gelificado

En este apartado se explica la realización de las pruebas que estudian el funcionamiento del horno de gelificado y su influencia durante el proceso de producción.

Prueba 4: Comparativa antes y después de horno de un mueble entero de capos

Para la realización de esta prueba se fabrican 9 capos en serie, encontrándose todos ellos en un mismo mueble de transporte. Estos son llevados a medir por el sistema Opti-Cell antes y después de pasar por horno de gelificado.

Tras analizar los informes de mediciones, se puede observar como la geometría de los conjuntos varia al pasar estos por el horno de gelificado. No todos los puntos tienden a cambiar su dimensionalidad de la misma forma.

Tras la realización de esta prueba y observar que hay diferencias en los conjuntos antes y después de pasar por el horno de gelificado. Se decide realizar las siguientes 3 pruebas, para intentar determinar de qué forma influye este proceso en el producto final.

Prueba 5: Indicadores de temperatura en 9 capos de un del mueble de transporte

Se realiza prueba de temperatura para observar la posible existencia de variabilidad de ésta dependiendo de la posición de la pieza en el mueble cuando estas pasan por el horno de gelificado (el funcionamiento de este horno se encuentra en el apartado 3.5 Funcionamiento del horno de gelificado de esta memoria).

Para realizar esta prueba se posiciona un indicador de temperatura (figura 5.1) en el centro de 9 capos que posteriormente son colocados en un mismo mueble de transporte y transportados al horno de gelificado. Estos indicadores tienen un rango de 143 a 182 °C con una escala de temperatura de 5 a 6 grados entre ellos. Una vez salen del horno se comprueba la temperatura máxima que alcanza cada capó. Esto se realiza por inspección visual de los indicadores que tras el horno indican el valor máximo de temperatura.

Tras la observación de los indicadores, se ve claramente marcada la casilla de temperatura de 143 °C y un poco gris la casilla de 149 °C, con lo que se concluye que la temperatura alcanzada es superior a la primera pero no llega a alcanzar los 149 °C. Los indicadores de los nueve capos indican la misma temperatura.



Figura 5.1 Indicador de temperatura

Se determina que no hay diferencias de temperatura entre capos, es decir, que su temperatura en el centro de la pieza es la misma independientemente de su posición en el mueble de transporte.

Estos capos son llevados a medir por el sistema de Opti-Cell para observar si existen variaciones entre los capos dependiendo de la posición del mueble en la que se encuentran.

Prueba 6: Indicadores de temperatura situados 6 puntos distintos del capó

En esta prueba se colocan 6 indicadores de temperatura en 6 posiciones distintas del capó como se indica en la figura 5.4.

Esta prueba se realiza en tres capos distintos que se posicionan en tres lugares distintos del mueble de transporte. Uno se posiciona en primer lugar, otro en el medio y finalmente en la última posición del mueble.

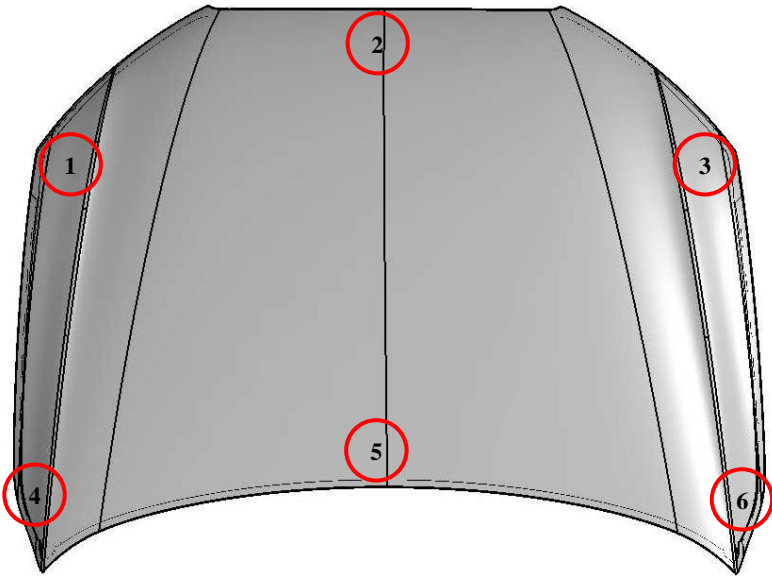


Figura 5.2 Posición indicadores de temperatura en capó

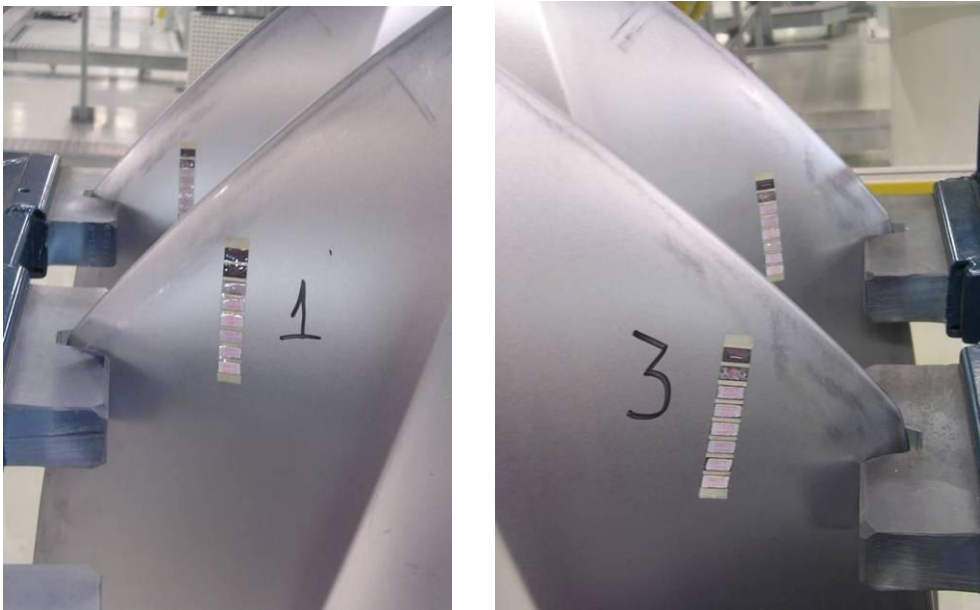


Figura 5.3 Indicadores de temperatura después de horno gelificado

Tabla 5.10 Temperatura indicadores de temperatura capó

Temperatura	Posición	1	2	3	4	5	6
Prueba 5.1		(-)149	(-)149	(-)149	149	(-)149	149
Prueba 5.2		149	(+)143	(-)149	149	(-)149	149
Prueba 5.3		149	143	(-)149	149	149	(-)149

Simbología utilizada: (-) no llega a marcar completamente la casilla de esa temperatura, por lo que no llega a la temperatura indicada, (+) marca la casilla y se empieza a marcar un poco la casilla de temperatura superior, por lo que la temperatura es ligeramente superior a la indicada por la casilla.

Como se puede ver en la tabla 5.10 de resultados de la temperatura, la temperatura que alcanzan los capos no es uniforme en toda la superficie tras pasar por el horno de gelificado habiendo diferencia de temperatura en el mismo punto entre los tres capos dependiendo de la posición en el mueble.

Prueba 7: Sensores de temperatura para horno de gelificado

Capó

Se utilizan 8 sensores térmicos posicionados como se indica la figura 5.4 para obtener la temperatura durante el proceso de horno de gelificado.

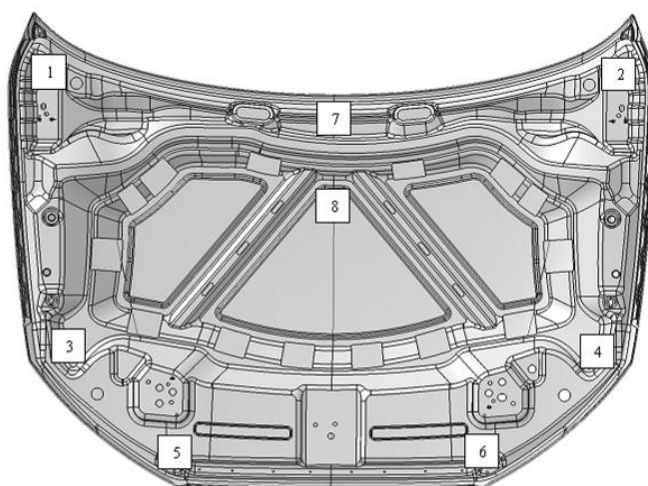


Figura 5.4 Posición sensores térmicos en capó

En esta primera muestra el capó se coloca en la posición 1 del mueble de transporte. Esto significa que dicho capó es el primero en entrar al horno de gelificado.

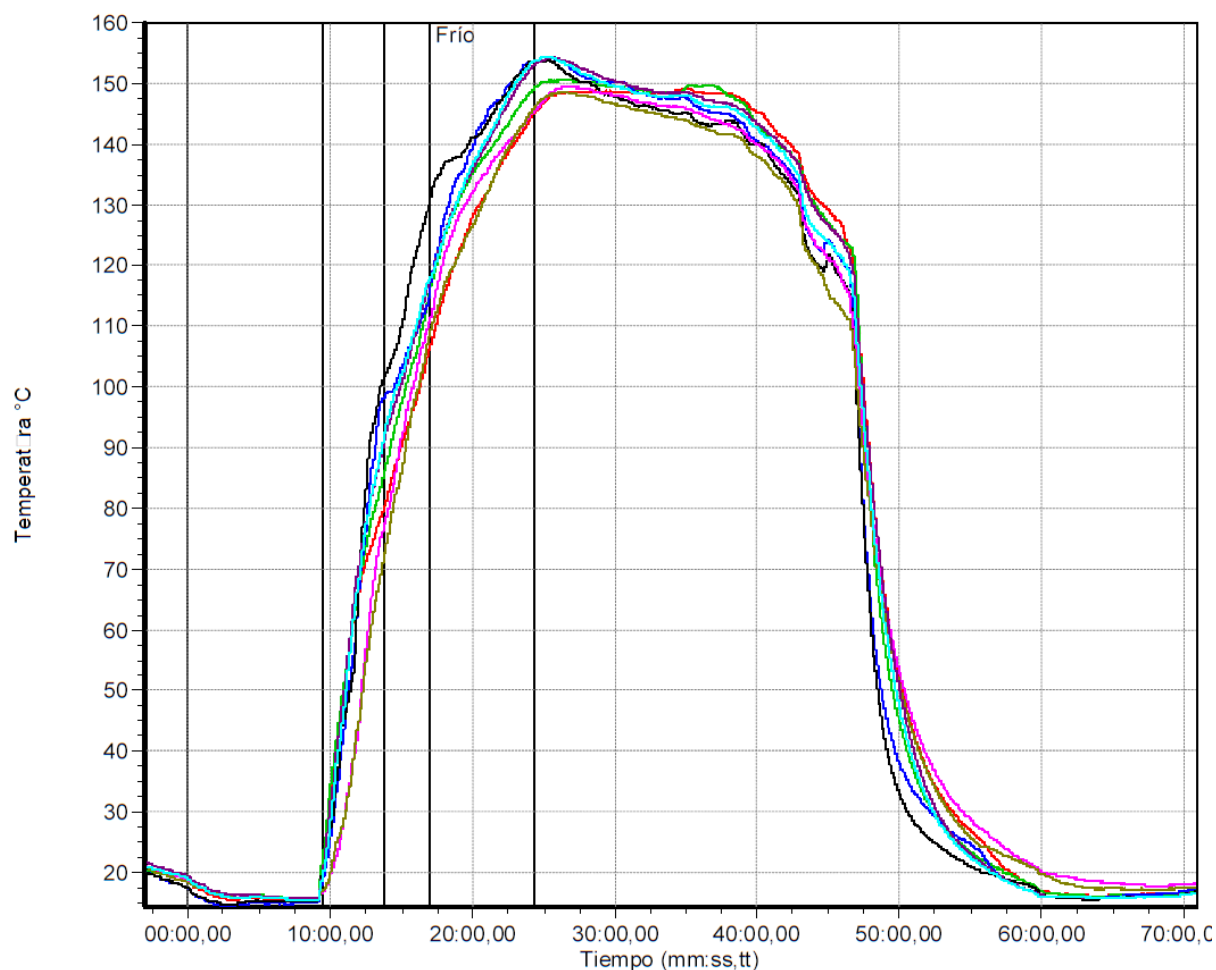


Figura 5.5 Gráfico de temperatura de los sensores térmicos en capó

Tabla 5.11 Máximos y mínimos de cada sensor en capó

SONDA	Máximo/mínimo					
	Máximo (°C)	Máx. alcanzado (mm:ss,t)	Mínimo (°C)	Mín. alcanzado (mm:ss,t)	Desviación estándar	Media (°C)
1	149,1	34:57,0	15,4	06:42,5	56,7	76,7
2	150,4	25:24,0	15,7	08:46,0	57,9	77,2
3	154,4	25:11,0	14,4	02:25,0	58,6	76,5
4	154,1	24:43,0	14,6	02:55,5	58,8	76,2
5	149,5	26:40,0	15,6	08:32,5	55,8	75,8
6	148,6	26:12,5	15,6	08:46,5	55,1	74,1
7	154,3	25:44,0	15,6	08:49,0	58,2	78
8	154,4	25:03,5	15,5	08:24,5	58,1	77,3

Se observa que la variación de temperatura a lo largo del tiempo de los distintos sensores tiende a hacer la misma forma de curva, aunque existe diferencias de temperatura entre ellos.

La variación máxima de temperatura se da a los 12:48 (mm:ss) entre los sensores 4 a 90,9 °C y el 6 a 58,5 °C dando una diferencia de 32,4 °C.

Portón

Se realiza la misma prueba en un portón. Los puntos donde se sitúan los sensores se pueden observar en la figura 5.6.

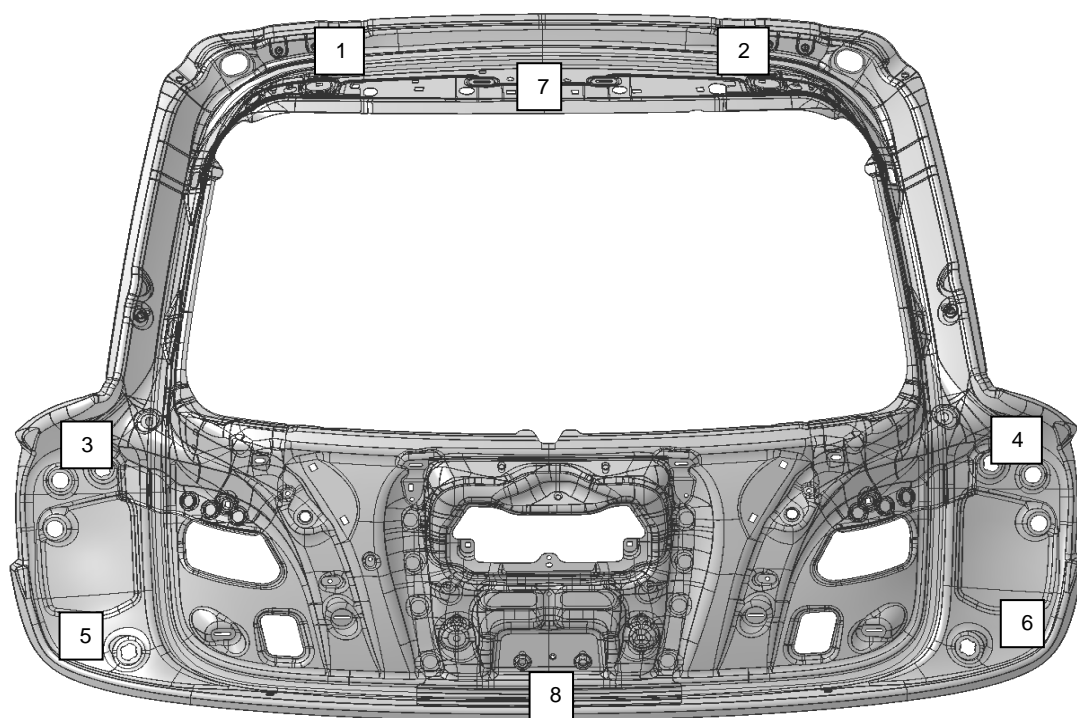


Figura 5.6 Posición sensores térmicos en portón

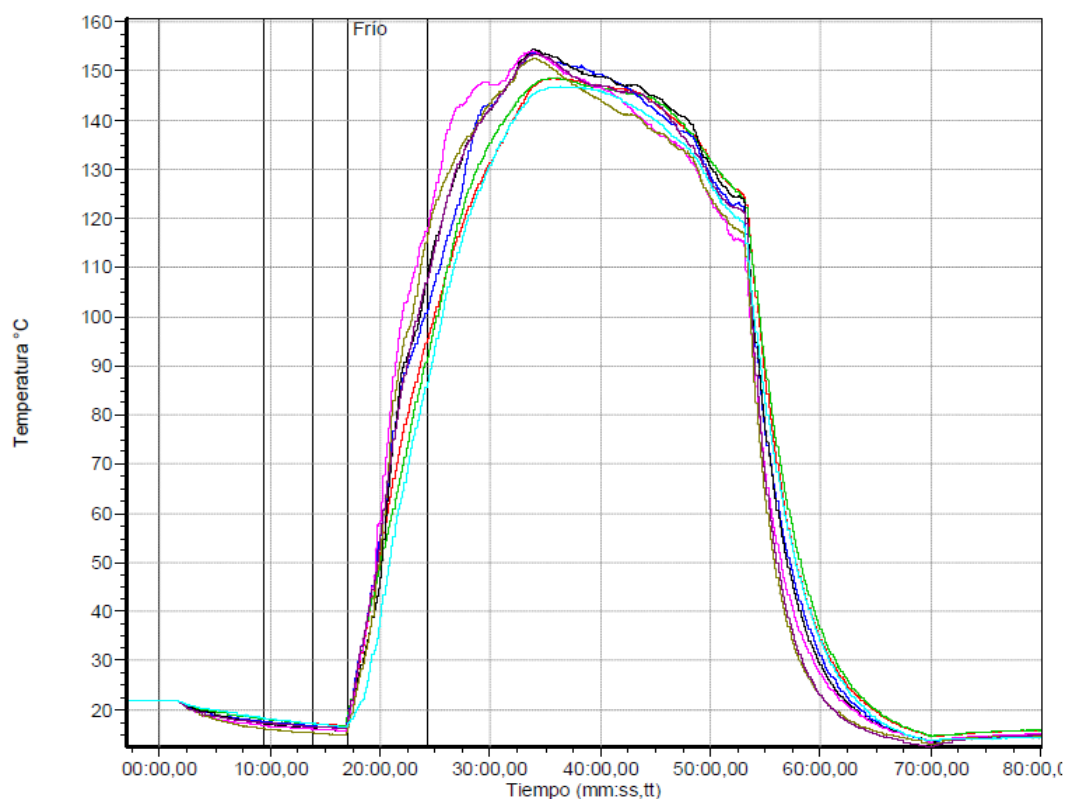


Figura 5.7 Gráfico de temperatura de los sensores térmicos en portón

Tabla 5.12 Máximos y mínimos de cada sensor en portón

SONDA	Máximo/mínimo					
	Máximo (°C)	Máx. alcanzado (mm:ss,t)	Mínimo (°C)	Mín. alcanzado (mm:ss,t)	Desviación estándar	Media (°C)
1	148,6	35:12,50	14,5	70:07,00	54,5	67,2
2	148,7	35:29,50	14,6	69:50,50	54,6	67,4
3	153,9	33:49,00	13,3	69:49,00	56,3	67,7
4	154,6	33:54,00	13,4	69:51,50	57,2	68
5	154,3	33:54,00	13,4	69:50,00	57,1	67,9
6	152,6	33:56,50	13,1	69:47,00	56,5	66
7	153,6	34:05,00	12,5	69:49,00	57	66,7
8	146,9	36:22,00	13,6	69:41,00	53,6	64,9

De la misma forma que en el capó se observa que la variación de temperatura a lo largo del tiempo de los distintos sensores tiende a hacer la misma forma de curva, aunque existe diferencias de temperatura entre ellos.

La variación máxima de temperatura se da a los 22:12 (mm:ss) entre los sensores 5 a 102,3 °C y el 8 a 65,4 °C dando una diferencia de 36,9 °C.

5.3 Análisis de la influencia de los cambios de temperatura en formatos

En el conjunto de las siguientes pruebas se estudia la influencia de los cambios de temperatura desde que los formatos son estampados y almacenados (zonas no climatizados) hasta que llegan a la instalación de producción.

Prueba 8: Distintas combinaciones en caliente de almacén y revestimiento capó

Debido a la diferencia que existe entre los informes de medición entre invierno y verano, se realiza una prueba de simulación situación de verano con la situación de la instalación actual.

Debido a que pueden existir posibles variaciones en la instalación de verano a ahora y para descartar estas variables a la hora de obtener los informes de medición, se descarta utilizar los informes ya existentes y se simula esta situación. Para ello, se introducen dos armazones y dos revestimientos de capó en un horno convencional a 50 °C durante 30 minutos para que estos obtengan la temperatura que aproximadamente estos adquirirían en el taller de almacenaje en verano. Posteriormente los formatos son trasladados a la instalación con un tiempo de estabilización en taller de 20 minutos.

Se realizan tres pruebas distintas. Debido al tiempo que comporta introducir las piezas a la línea de producción y el tiempo que existe entre la producción de piezas en la propia instalación la temperatura de las piezas no es exactamente a la misma al pasar por cada estación de producción.

Condiciones 8.a: Revestimiento + almacén. Ambos con la influencia de temperatura producida por el horno convencional y llevados a la instalación.

Condiciones 8.b: Revestimiento con la influencia de temperatura producida por el horno convencional + almacén de producción en serie

Condiciones 8.c: Revestimiento de producción en serie + almacén con la influencia de temperatura producida por el horno convencional

En los informes de medición de estas tres pruebas, se puede observar como resultado global variaciones de 0,4 mm en volumen en todo el conjunto. Cada variación en la prueba tiene sus variaciones concretas en dimensionalidad. En el lado izquierdo del capó se observa que con las condiciones de la prueba B donde el revestimiento ha estado sometido a 50 °C en horno convencional y el almacén ha sido extraído de fabricación en serie se da la peor situación. En el lado derecho se observa que la mayor

variación con respecto a fabricación en serie ocurre en la prueba con condiciones A. Los puntos centrales se mantienen estables, dentro de tolerancia, su variación es muy pequeña para tener en consideración.

Prueba 9: Armazón y revestimiento directamente de horno a producción.

Para esta prueba se somete al armazón y revestimiento a una temperatura de 180 °C en un horno convencional durante un periodo de 40 minutos y se llevan directamente a la línea de producción sin dejar tiempo de reposo para la estabilización a temperatura taller. Con esto se quiere comprobar que influencia tiene el calor en la dimensionalidad final del conjunto.

Tras la realización de dicha prueba el conjunto es medido por el sistema Opti-Cell. Se observa que hay una dilatación global en el volumen del conjunto que afecta a su geometría, mostrando algunos puntos de control fuera de las tolerancias establecidas.

Prueba 10: Armazón y revestimiento directamente en frío a producción.

Para la realización de esta prueba se extraen dos revestimientos, dos armazones y dos refuerzos de cerradura del almacén el cual se encuentra a una temperatura de 2 °C. Estas piezas se llevan inmediatamente a la línea de producción. Una vez están acabados los conjuntos, estos son medidos por Opti-Cell.

5.4 Estudio de la influencia del horno de gelificado en el portón

Se procede a estudiar cómo influye la temperatura a la que son sometidos los conjuntos portón tras el proceso de horno de gelificado.

Prueba 11: Portón antes y después de horno

Esta prueba consiste en comprobar las franquicias y enrases de un portón de fabricación en serie montándolo en una misma carrocería, antes y después del proceso de horno de gelificado para observar si existe alguna diferencia de resultados entre ambos.

Se comprueba el portón en calibre antes de pasar por el horno de gelificado y se mide dicho portón en DEA después de horno de gelificado.

En la figura 5.8 se observan los puntos donde se realizan las mediciones una vez el portón se monte en carrocería. En la tabla 5.13 se puede observar los resultados de franquicias y enrases montados en carrocería antes y después de horno.

En la tabla se indica el posicionamiento de la medición. Se toman dos medidas de franquicias y enrase; primero se toman las mediciones cuando el portón es ajustado en una carrocería de fabricación en serie y la medición con taco que permite la simulación de la posición del portón en montaje con la cerradura en el eje Z. Se coloca un taco con la medida estandarizada en la zona inferior central.

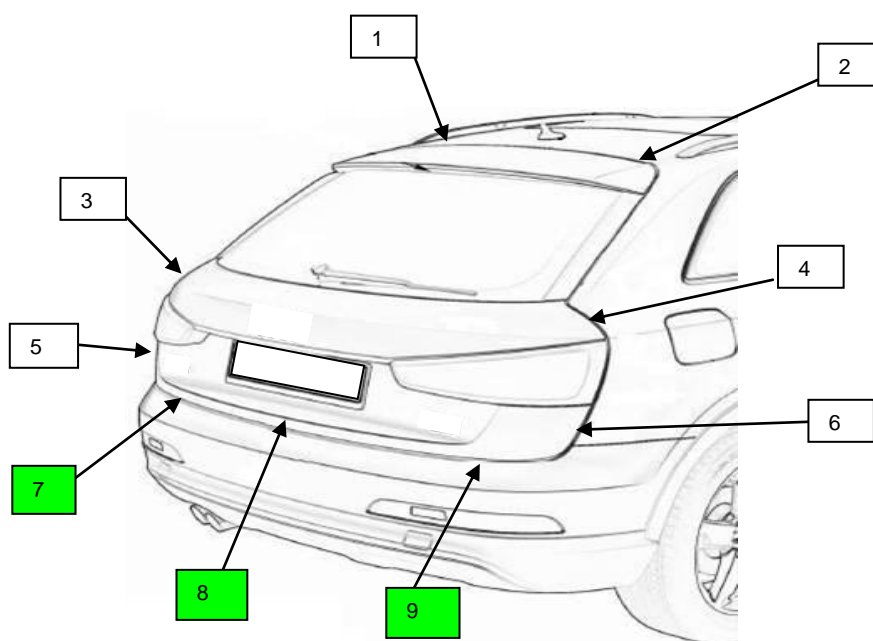


Figura 5.8 Puntos de control del portón en carrocería

Tabla 5.13 Mediciones franquicias y enrase portón antes y después de horno en una misma carrocería [mm]

Sin horno de gelificado	1		2		3		4		5		6		7	8	9
	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F
En serie	4,9	0,8	5,3	1,4	4,2	0	4	0	4,1	-0	4	-0	4,5	4,8	4,6
Taco	4,9	0,8	5,3	1,4	4,5	0,7	3,7	-2	5,2	0,3	3,5	-1	6,1	5	3,3

Con horno de gelificado

En serie	5,1	1	5,5	1,4	4,1	0	4,1	0	4,4	-0	4,4	0	4,7	4,9	4,5
Taco	5,1	1	5,5	1,4	4,5	1	3,9	-2	5,4	0,5	4	-1	6	5,2	3,7

Para medir puntos 1, 2, 7, 8 y 9 de la figura 5.8 se colocan unos útiles que simulan la posición del parachoques y spoiler para así poder medir las franquicias y enrase que se observaran en la fase de montaje.

Todos estos útiles de simulación se colocan para realizar un primer ajuste de portón. Con estos controles se puede observar si la producción de los distintos conjuntos es correcta.

En la siguiente figura se observan los puntos donde se comprueban franquicias y/o enrases del portón en calibre. En la tabla 5.14 se observan los valores en calibre del portón de estudio en calibre sin pasar por horno.

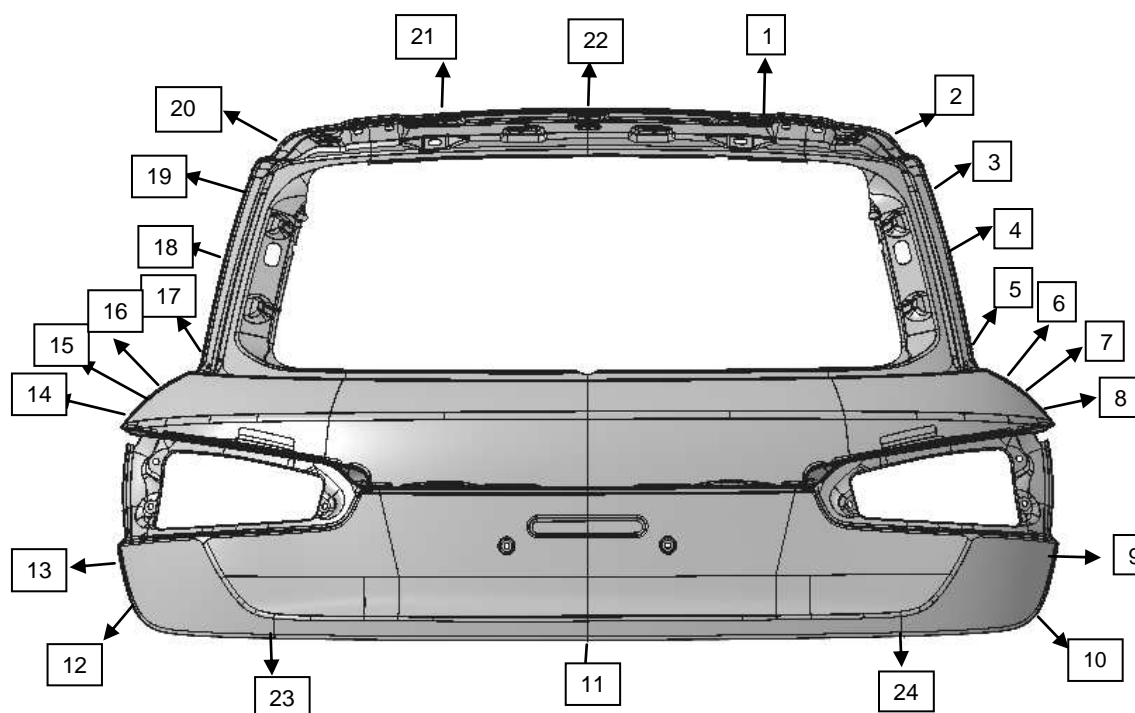


Figura 5.9 Puntos de control portón en calibre

Tabla 5.14 Mediciones portón en calibre [mm]

Puntos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Enrase	-0,9	-0,1	-0,4	-0,5	-0,3	0	-0,4	-0,3	-0,4	-0,7	-0,7	0,5
Franquicia				4,9	4,6	5,6	5,1	4,7	5	4,7	5	5,3
Puntos	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enrase	0,3	0,9	0,7	0,4	0,6	0,4	0	-0,1	-0,7	-0,9	0,4	-0,4
Franquicia	5,6	4,6	5,3	5	4,7	5,5					5,3	4,6

Tras realizar la prueba se observa un “springback” entre el punto 1 y 2 de la figura 5.9 después de pasar por horno de gelificado, en el calibre.

Cuando se coloca dicho portón en calibre sin horno no existe este efecto muelle entre estos dos puntos. Una vez el portón pasa por el horno de gelificado se vuelve a colocar en calibre y después de ajustarlo se observa que entre los puntos 1 y 2 existe un

“springback” de 1,5 mm. Esto se comprueba utilizando un reloj comparador que indica que después de ajustar el portón en calibre sin fijar el eje Z en este punto el engrase es de +1,0 mm, una vez se fija el eje Z en este punto, el comparador da un valor de -0,5 mm lo que nos indica que existe un “springback” de 1,5 mm.

Observando los valores obtenidos, parece que en lado derecho tras el horno de gelificado, la franquicia aumenta un poco.

Prueba 12: Simulación horno sin mueble de transporte

Tras el paso de las piezas por horno de gelificado con el mueble de transporte se observa en algunos casos la existencia de “springback” en algunas zonas de portón, esto es debido a la existencia de tensiones superficiales que se producen durante el calentamiento de la pieza en horno.

Los portones montados en calibre antes de pasar por el horno no presentan este problema.

Se podría pensar entonces que los soportes de los muebles crean una fuerza en el portón, creando una deformación de la pieza y en consecuencia la aparición de tensiones superficiales que crean este “springback”.

El “springback” al montar el portón en carrocería se traduce en la aparición de un efecto muelle, como se explica en la prueba anterior.

Debido a la complicación de la manipulación de los apoyos de los muebles para simular distintas posiciones y ver las consecuencias se realiza la siguiente prueba. Se introducen 3 portones en el horno convencional de pruebas después de su fabricación durante 40 minutos a 180 °C para simular el efecto del horno de gelificado, sin mueble de transporte, únicamente apoyándolos en las pareces de dicho horno. Cada portón se coloca de manera distinta en el horno de manera que los apoyos sean distintos.

Una vez ha transcurrido el tiempo, estos se extraen y se dejan enfriar.

Estos tres portones se vuelven a montar en el calibre para ver los resultados. Se observa que el valor de este muelle es el mismo que el de un portón fabricado en serie y es del mismo valor que el resto de portones de prueba, teniendo un valor de 1.5mm obtenido por un reloj comparador.

6. Conclusiones

6.1 Resultados

Influencia del horno de gelificado

Con la realización de la prueba 4 donde se compara la geometría de los capos de un mueble entero de transporte antes y después de que estos pasen por el horno de gelificado, se observa en los informes de medición como la geometría de los conjuntos varía tras el paso de estos por dicho horno. Se observa que en el lado izquierdo los puntos de estudio tienen tendencia a bajar su enrase mientras que en el lado derecho se observan tendencias distintas en los distintos puntos de estudio.

Se observa que en algunos puntos de estudio el cambio de geometría no tiene la misma tendencia en todos los conjuntos, lo que nos lleva a deducir que dependiendo de su posición en el mueble de transporte un punto concreto tiene variaciones distintas.

Tras la realización de la prueba número 5 donde se sitúan indicadores de temperatura en el centro de 9 capos, no se observa diferencia de temperatura entre los indicadores, independientemente de la posición del conjunto en el mueble aunque según el informe de medición se observan más variaciones dimensionales comparados con las cotas 0 de cada punto en las piezas situadas en el centro del mueble que en las exteriores. Utilizando los mismos indicadores de temperatura posicionándolos en 6 puntos distintos del capó se puede confirmar que la temperatura no es uniforme en toda la superficie del capó.

Estos indicadores de temperatura no son muy exactos y sus resultados no son muy fiables por esta razón se realiza una combinación de las dos [pruebas 5 y 6] utilizando sensores térmicos.

Cuando se realiza la prueba con sensores térmicos en el capó situado en la primera posición del mueble de transporte, se observa que la curva de temperatura, Figura 5.5, de cada sensor tiene similar forma aunque los valores son distintos entre ellas. Esto confirma que la temperatura no es uniforme en toda la superficie.

La máxima variación de temperatura ocurre a los 12:48 (mm:ss) entre los sensores 4 y 6, existiendo una diferencia de temperatura de 32,4 °C.

De la misma forma que en el capó, la curva de temperatura en el portón fFigura 5.7 7 es de similar forma entre los distintos sensores pero con valores distintos entre ellos.

La máxima variación de temperatura ocurre a los 22:12 (mm:ss) entre los sensores 5 y 8, existiendo una diferencia de temperatura de 36,9 °C.

Aunque el horno de gelificado por donde pasan estos conjuntos es el mismo, la variación de temperatura máxima no ocurre de la misma forma en el capó que en el portón.

Una vez más se comprueba que la temperatura no es uniforme en toda la superficie y se puede concluir que el horno de gelificado no influye la misma cantidad de calor en todo el volumen.

Sabiendo que tras el paso de los conjuntos por el horno de gelificado varía la geometría tanto de portón como de capó, que el calor que incide en horno no permite que la temperatura de la superficie sea uniforme en todos sus puntos y que tras el paso de portón por el horno en algunos casos existe la aparición de un “springback” que produce un efecto muelle en algunos puntos del portón, se analiza con detenimiento la curva de temperatura del portón y se comparan los puntos donde ocurre dicho springback [prueba 11]. Este “springback” afecta directamente al ajuste de todo el portón ya que para eliminarlo se debe realizar un trabajo extra manual para que franquicias y enrasas cumplan los estándares de calidad. El “springback” aparece entre los puntos 1 y 2 de la Figura 5.9 . Observando la Figura 5.7 la curva de temperatura perteneciente a este punto, es durante todo el proceso inferior a la temperatura de la zona inferior del portón.

Cambios de temperatura de los formatos antes de entrar en instalación

En las pruebas en las cuales se ha variado la temperatura de los formatos antes de ser producidos, ya sean en caliente o en frío, se observa que la temperatura influye en la geometría final de los conjuntos.

Así pues, en la prueba 8, tras realizar distintas combinaciones de armazón y revestimiento en caliente y/o a temperatura de la nave de producción, se puede ver en los informes de medición como resultado global una variación de 0,4 mm en todo el conjunto. Cada combinación obtiene unos resultados distintos.

La situación más desfavorable de esta prueba para el lado izquierdo del capó se encuentra en la combinación B, donde el revestimiento ha sido sometido a una temperatura de 50 °C en un horno convencional y el armazón no se ha sometido a ninguna variación de temperatura distintas a las de producción en serie. En cambio, en el lado derecho y en los puntos centrales se observa mayor variación tras la realización

de la combinación A, donde ambos armazón y revestimiento son sometidos a calor antes de ser introducidos en la instalación.

Se debe tener en cuenta que desde la introducción de las piezas con combinación A, a las de la prueba C pasan aproximadamente 5 minutos, donde las piezas tienen más tiempo para aclimatarse a la temperatura del taller.

En la prueba donde tanto el armazón como el revestimiento son sometidos a una temperatura de 180 °C en un horno convencional y llevados directamente a la instalación sin dejar tiempo para la aclimatación de los formatos a la temperatura de la nave de producción, se observa en los informes de medición una dilatación considerable del volumen total del conjunto quedando la mayoría de puntos de estudio fuera de tolerancia. Se observan puntos donde su diferencia de enrase con respecto a uno fabricado en serie varía hasta 2 mm.

También se puede observar como el frío influye en la geometría de los conjuntos, no únicamente ocurre debido al calor.

Tras la realización de las pruebas donde los formatos se encuentran a una temperatura inferior a la temperatura de la nave de producción, se observa que ambos lados de los conjuntos sufren variaciones dimensionales. El lado izquierdo pierde volumen, queriendo decir que los enrases de este lado con respecto a los de serie son más bajos. Por el contrario en el lado derecho el frío provoca que los enrases suban.

Una vez realizadas las distintas pruebas de temperatura se concluye que la variación de temperatura influye en la geometría de los conjuntos pero que dichas variaciones no siguen un patrón. Esto quiere decir que una misma prueba no afecta de modo igual a todos los puntos del conjunto.

Características mecánicas y composición química

Durante las pruebas de características mecánicas, en concreto la prueba 3 se encuentra la existencia de un 27,9 % de diferencia entre las muestras 1 y 3 (revestimiento capó y revestimiento portón respectivamente) regidas ambas por los mismos valores tomados como valores aceptables para la producción de dichas piezas. Se halla que el límite elástico $R_{p0,2}$ tras un estiramiento al 2% y calentamiento durante 20 minutos a 185 °C en la muestra 3 se encuentra fuera de la normativa, no llegando al mínimo prescrito.

Debido a que el límite elástico es inferior al establecido, la deformación plástica ocurre antes. Esto puede influenciar en la forma final del formato tras la estampación, ya que la recuperación elástica no será la misma que la que se debería obtenerse si el límite elástico estuviera dentro de los límites prescritos. Estas deformaciones influyen en la geometría del producto final.

Al unir un armazón con límites elásticos dentro de los valores establecidos con un revestimiento fuera de esos valores, o si esta situación se diera al revés, o en el caso que uno de los formatos llegara a la instalación con alguna pequeña deformación, la unión entre ambos formatos podría crear tensiones entre ambas piezas, creando deformaciones dimensionales en el conjunto.

Comparando la composición química de dos armazones con un informe de medición OK y otro con el informe NOK, se observa que la diferencia porcentual en masa de los elementos que componen las aleaciones no es significativa. Por tanto, se puede descartar errores en la composición química de las aleaciones como causa de las variaciones dimensionales. Cada elemento de una aleación aporta ciertas propiedades a dicha aleación, al no haber una diferencia notoria en la composición química, esta se descarta como causa del problema.

También se puede descartar la influencia de los muebles de transporte como posible influencia en la aparición de tensiones y/o deformaciones en los conjuntos portón, ya que tras la simulación del proceso de horno de gelificado sin la utilización de muebles de transporte y por tanto sin apoyos que puedan forzar una posición incorrecta de los conjuntos, se observa que siguen apareciendo deformaciones dimensionales en los mismos puntos que utilizando los muebles de transporte.

6.2 Medidas correctoras

Se recomienda el seguimiento de un protocolo de caducidad de los materiales. Al realizar el estudio del proceso de producción de este modelo se descubre que este protocolo no se aplica. Dicho protocolo dice lo siguiente.

Para el material hay unos tiempos de almacenaje específicos:

- De 3 a 6 meses para la bobina una vez laminada.
- Desde que se corta la bobina hasta que entra a estampar debe pasar un máximo de 8 semanas.
- Desde que el panel y revestimiento han sido estampados hasta engrapar la pieza máximo de una semana.

Los formatos necesitan un tiempo de adaptación a la temperatura de la nave donde se produzcan los elementos hechos de este material de un mínimo dos horas para evitar problemas de rotura, grietas y geometría.

Esta temperatura debe mantenerse alrededor de los 22 °C. Temperatura optima para trabajar el aluminio y optima para los trabajadores que se encuentran trabajando en dicha planta.

Tras una reunión con el proveedor de los formatos estampados, se concluye que desde sus competencias se aplica correctamente el protocolo de caducidad del material y siempre mandan los lotes de estampación más viejos. El tiempo máximo de almacenamiento de dichos lotes es de una semana antes de realizar el envío. Se reciben los lotes según protocolo, pero en algunos casos dichos camiones contienen distintos lotes, esto no es discriminado por el departamento logística, ya que lo almacena por igual, teniendo en cuenta únicamente la fecha de llegada de dicho camión.

Tras este descubrimiento se implantan las siguientes medidas:

Teniendo en cuenta la variabilidad en las piezas de aluminio en función del lote de estampación y del lote de bobina, es necesario identificar los cambios de lote para así poder adelantar las medidas correctivas en instalación.

El proveedor indicará la referencia y fecha de fabricación de bobina en la etiqueta de cada contenedor de transporte.

Se marca como objetivo no mezclar distintos lotes en un mismo envío, en caso de que esto no fuera posible se deberá identificar el cambio de lote. De esta manera el departamento encargado de asegurar la geometría final de la carrocería puede adelantarse a posibles cambios, realizando un análisis previo de las piezas del nuevo lote antes de que estas lleguen a la instalación. La empresa proveedora deberá comunicar a logística la fecha de cambio de lote y envío del mismo.

Des del departamento de logística se estudia implantar un sistema de almacenaje de ubicación abierta de manera que en una misma columna no existan contenedores con lotes de estampación distintos. Nada más recibir un nuevo lote, el departamento de logística deberá proveer al supervisor de producción con cinco formatos de dicho lote para adelantar la fabricación de los conjuntos y poder definir las medidas correctivas necesarias antes de que dicho lote entre en línea de producción.

Desde el departamento encargado de la estabilidad dimensional se realizará un control y seguimiento semanal de la antigüedad de los formatos.

6.3 Valoración final

- Es de vital importancia un control exhaustivo del stock, así como una logística eficiente, desde que se corta el formato hasta que se engrapa la pieza, ya que la aleación puede cambiar sus propiedades a medida que pasa el tiempo. Después de la laminación en caliente y el temple en proceso, se produce un envejecimiento natural o maduración que endurecerá el material y producirá una bajada del alargamiento y consecuentemente de la deformabilidad de la plancha. Esta pérdida de deformabilidad a la larga podrá provocar la aparición de grietas y roturas en la etapa de estampación.
- La temperatura de los formatos es de vital importancia a efectos dimensionales para el producto final; es necesaria la aclimatación de los formatos a la temperatura de la nave de trabajo. En el caso de que los formatos entren en la línea de producción a una temperatura fuera del margen entre 5 y 35 °C, se observan cambios dimensionales que llevan a los conjuntos a estar fuera de tolerancia y por tanto pueden no ser aceptados por el departamento de calidad o implicar un retrabajo lo que conlleva un aumento de los costes finales del producto. Además se observa que unos formatos demasiado fríos pueden derivar a problemas de rotura o grietas.
- Se descarta que los muebles de transporte provoquen deformaciones en los conjuntos creando tensiones superficiales, cuando los conjuntos pasan por el horno de gelificado.
- Las variaciones en la composición química entre las distintas muestras analizadas descarta esta variable como posible influencia en la estabilidad dimensional del producto.
- Se recomienda un estudio de la posible modificación del horno de gelificado para que la temperatura durante todo este proceso sea uniforme en toda la superficie.
- Por otra parte, se recomienda realizar un seguimiento de las características mecánicas de los laminados con los que se realizan los formatos para comprobar que estos estén dentro de los límites prescritos.

Debido a la limitación temporal de este trabajo, la eficacia de las medidas correctoras propuestas no se podrá evaluar hasta pasado un mínimo de 2 meses y por tanto esta validación queda fuera del alcance de este trabajo de grado.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer al tutor de empresa por brindarme con la oportunidad de realizar este proyecto. Agradecer a todos mis compañeros del departamento su ayuda y colaboración, no sólo durante el tiempo de realización de este proyecto sino por el tiempo dedicado anteriormente, durante el periodo de prácticas, al desarrollo de mis conocimientos.

Agradecer al departamento de producción su ayuda a la hora de organizar y programar pruebas en instalación, así como explicaciones sobre diferentes procesos. Al departamento de mantenimiento por facilitar equipamiento y material, así como su dedicación a la enseñanza de su funcionamiento e interpretación de los resultados. Agradecer al departamento de logística su colaboración a la hora del abastecimiento de material para pruebas. Al departamento de mediciones, por la paciencia y trabajo extra realizado. Gracias al departamento de laboratorio por dejarme utilizar sus instalaciones para la realización de ensayos, por guiarme en su realización e interpretación.

Agradecimientos al tutor académico de este proyecto Dr. Josep A. Picas y a los miembros del tribunal por su atención, Dra. M. Teresa Baile, Dr. Josep González Rovira y Dr. Enric Martí.

Por último pero no por ello menos importante, gracias al esfuerzo de mi familia durante mi educación, por darme la oportunidad y ayuda para estudiar lo que he querido pero sobre todo gracias por su paciencia.

Bibliografía

Referencias Bibliográficas

[1] <http://alcemar.com>

Consulta septiembre 2013

[2] <http://www.alueurope.eu/>

Página oficial de European Aluminium Association. Consulta septiembre / diciembre 2013

[3] ASM International Handbook Committee. ASM Specialty Handbook. Aluminum and Aluminum Alloys. 6ª edición. Editado por J.R. Davis, Davis & Associates, 2007. ISBN-13: 978-0-87170-496-2.

Consulta noviembre/ diciembre 2013

[4] <http://www.audi.es>

Página oficial de Audi España. Consulta septiembre 2013

[5] Castillo M., Dr. R. El aluminio. Aspectos generales. Curso introductorio – Tecnología del aluminio. SEAT, S.A. 2007.

[6] <http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/>

Página oficial de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Bilbao. Curso de Técnicas Avanzadas de Mecanizado y Medida. Consulta octubre 2013.

[6] <http://www.gestion-calidad.com/archivos%20web/gestion-reciclado-residuos-especificos.pdf>

Consulta octubre 2013

[7] http://www.hexagonmetrology.es/Archivo_2217.htm?id=2610

Página oficial de hexagonmetrology. Sistemas de medición

[8] <http://ingenieriademateriales.com/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>

Consulta septiembre 2013

[9] King, F.; El aluminio y sus Aleaciones. Versión en español García C.A. 1ª Ed. México, Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 1992. ISBN 968-18-4374-6.

Consulta septiembre, octubre y noviembre 2013

[10] Manual del Aluminio Vol. I. Versión en español Coca, P. 2ª edición. Editorial Reverté, S.A. Marzo 2004. ISBN 84-291-6011-6.

[11] Martínez, J. Estudio de componentes para automoción con aleaciones de Al-Si inyectadas a presión. Proyecto final de carrera UPC. Departamento de Ciencia de la materiales e Ingeniería metalúrgica. 2012

[12] Mukhopadhyay, P. Alloy Designation, Processing, and Use of AA6XXX Series Aluminium Alloys. R. Hebert, Y. Yamabe-Mitarai. Hindawi Publishing Corporation, ISRN Metallurgy. Volume 2012, Article ID 165082, 15 pages. ISSN: 2090-8717 (Online). <http://www.hindawi.com/isrn/metallurgy/2012/165082/>

[13] Norma UNE 38334. Ed. 2003. Aluminio y aleaciones de aluminio para forja. Serie 6000. AlMgSi. Aleación EN AW-6351/EN AW-AlSi1Mg0,5Mn.

[14] Recopilación de información e informes proporcionados por la empresa

[15] http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13_4.html

Página oficial de Universidad Politécnica de Valencia. Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales. Consulta octubre 2013

Bibliografía complementaria

[16] ASM Handbook, Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special – Purpose Materials. Formerly Tenth Edition, Metals Handbook.

[17] Centro de Desarrollo del Aluminio, S.A. Aleaciones industriales del Aluminio. Editorial Madrid Centro de desarrollo del aluminio, 1966

[18] <http://ingemecanica.com/tutoriales/tutoriales.html>

Consulta septiembre 2013

Índice de Figuras

Figura 1.1 Diagrama de Gantt. Planificación del proyecto	5
Figura 2.1 Principales productores de aluminio del 2012	7
Figura 2.2 Bauxita	8
Figura 2.3 Esquema de la producción de alúmina mediante proceso Bayer	8
Figura 2.4 Resumen de los límites de resistencia a la tracción de algunas aleaciones de aluminio para forja	11
Figura 2.5 Resumen de los límites de resistencia a la tracción de algunas aleaciones de aluminio para fundición	11
Figura 3.1 Desarrollo y proceso de un vehículo	25
Figura 3.2 Proceso de producción en serie del vehículo	26
Figura 3.3 Capas de los distintos procesos de pinturas	29
Figura 3.4 Pinza de clinchado	31
Figura 3.5 Pinza de sujeción	31
Figura 3.6 Clinchado	32
Figura 3.7 Soldadura por puntos	34
Figura 3.8 Masilla.....	34
Figura 3.9 Conjunto carrocería	35
Figura 3.10 Engrapado	36
Figura 3.11 Horno de Gelificado	39
Figura 3.12 Curva teórica del proceso de horno de gelificado.....	40
Figura 3.13 DEA [7].....	42
Figura 3.14 Medición Opti-Cell.....	42
Figura 3.15 Medición In-Line	43
Figura 3.16 Medición In-Line	44
Figura 3.17 informe medición.....	45
Figura 3.18 Gráfico medición de un punto en eje Y	45
Figura 3.19 Gráfico de medición de un punto en DI.....	46
Figura 3.20 Mapeado Opti-Cell	46
Figura 4.1 Puntos calibre capó	50
Figura 4.2 Puntos calibre portón	51
Figura 4.3 Puntos de control	53
Figura 5.1 Indicador de temperatura	60
Figura 5.2 Posición indicadores de temperatura en capó	61
Figura 5.3 Indicadores de temperatura después de horno gelificado	61
Figura 5.4 Posición sensores térmicos en capó	62
Figura 5.5 Gráfico de temperatura de los sensores térmicos en capó	63
Figura 5.6 Posición sensores térmicos en portón	64
Figura 5.7 Gráfico de temperatura de los sensores térmicos en portón	65

Figura 5.8 Puntos de control del portón en carrocería.....	68
Figura 5.9 Puntos de control portón en calibre.....	69

Índice tablas

Tabla 1.1 Planificación del proyecto	6
Tabla 2.1 Propiedades físicas más relevantes del aluminio puro	13
Tabla 2.2 Clasificación Aleaciones de Aluminio	14
Tabla 2.3 Composición química (% en masa)	22
Tabla 2.4 Valores mecánicos en estado de suministro	22
Tabla 2.5 Valores mecánicos después del tratamiento térmico	23
Tabla 2.6 Criterios de subdivisión	23
Tabla 2.7 Composición química (% en masa)	23
Tabla 2.8 Valores mecánicos en estado de suministro	24
Tabla 2.9 Valores mecánicos después del tratamiento térmico	24
Tabla 5.1 Características mecánicas	54
Tabla 5.2 Tratamiento térmico T6 según DIN EN 515 (30 minutos/205 °C)	55
Tabla 5.3 Rugosidad.....	55
Tabla 5.4 Composición Química (composición química % en masa)	55
Tabla 5.5 Composición química muestras 1 y 2 (composición química % en masa)	56
Tabla 5.6 Diferencia porcentual entre muestras	56
Tabla 5.7 Características mecánicas	57
Tabla 5.8 Tratamiento térmico T6 según DIN EN 515 (30 minutos/205 °C) armazones	57
Tabla 5.9 Características mecánicas tras estiramiento al 2% y calentamiento durante 20 minutos a 185 °C, revestimientos	57
Tabla 5.10 Temperatura indicadores de temperatura capó.....	61
Tabla 5.11 Máximos y mínimos de cada sensor en capó	63
Tabla 5.12 Máximos y mínimos de cada sensor en portón	65
Tabla 5.13 Mediciones franquicias y enrasas portón antes y después de horno en una misma carrocería [mm]	68
Tabla 5.14 Mediciones portón en calibre [mm]	69

Glosario

Anisotropía direccional. Propiedad general de la materia según la cual la propagación de propiedades como elasticidad, temperatura, conductividad, etc. Varían según la dirección en que son examinadas.

EEMM. Elementos Móviles

Hoja de operaciones. Documento donde se anotan todos los datos que definen la operación: partes en que se subdivide, tiempo asignado a cada parte, modo en que se realizan, así como los medios de que se disponen para realizarla.

ISO. International Organization of Standardization.

Kg. Kilogramo

Kw. Kilovatio

mm. Milímetro

MPa. Mega Pascal

m². Metro cuadrado

Springback. Tendencia de un material a regresar a su estado original una vez su estado ha sido perturbada. La recuperación elástica se corrige a menudo con operaciones que superan la flexión/deformación requerida.

Temperatura de recrystalización. Menor temperatura a la cual se obtienen granos equiaxiales de menor tamaño libre de esfuerzo interno en un material metálico que previamente ha sido deformado en frío. Límite entre trabajo en frío y el trabajo en caliente. Cada material metálico tiene una temperatura de recrystalización definida. Por encima de ella se trabaja en caliente y por debajo se trabaja en frío.

Tn. Tonelada

UB. Unterbau - Autobastidor

UNE. Una Norma Española

°C. Grados centígrados

µm. micrómetro